



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.29-TDI

UM MÉTODO PARA AVALIAR A MATURIDADE DE RISCOS E INCERTEZAS NA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS ESPACIAIS

Lucas Lopes Costa

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Fabiano Luis de Sousa, e Milton de Freitas Chagas Junior, aprovada em 04 de novembro de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47PQE95>>

INPE
São José dos Campos
2022

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.29-TDI

UM MÉTODO PARA AVALIAR A MATURIDADE DE RISCOS E INCERTEZAS NA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS ESPACIAIS

Lucas Lopes Costa

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais, orientada pelos Drs. Fabiano Luis de Sousa, e Milton de Freitas Chagas Junior, aprovada em 04 de novembro de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47PQE95>>

INPE
São José dos Campos
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Costa, Lucas Lopes.

C823m Um método para avaliar a maturidade de riscos e incertezas na concepção de sistemas espaciais / Lucas Lopes Costa. – São José dos Campos : INPE, 2022.

xxxii + 455 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.29-TDI)

Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022.

Orientadores : Drs. Fabiano Luis de Sousa, e Milton de Freitas Chagas Junior.

1. Tomadas de decisão informadas ao risco. 2. Análise de riscos. 3. Fase conceitual do ciclo de vida de projeto. 4. Sistemas espaciais. I.Título.

CDU 629.78:005.334



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS****DEFESA FINAL DE TESE LUCAS LOPES COSTA
BANCA Nº 282/2022, REGISTRO 122017/2017.**

No dia 04 de novembro de 2022, as 14h, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutor em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais. O trabalho não precisa de correções.

Título: “Um método para avaliar a maturidade de riscos e incertezas na concepção de sistemas espaciais”.

Membros da Banca:

Dr. Geilson Loureiro – Presidente – INPE

Dr. Fabiano Luis de Sousa – Orientador – INPE

Dr. Milton de Freitas Chagas Junior – Orientador – INPE

Dr. Mauricio Goncalves Vieira Ferreira – Membro Interno – INPE

Dr. Mischel Carmen Neyra Belderrain – Membro Externo – ITA

Dra. Dinah Eluze Sales Leite – Membro Externo – EMBRAER



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Goncalves Vieira Ferreira, Coordenador de Rastreo, Controle e Recepção de Satélites**, em 07/11/2022, às 12:36 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Geilson Loureiro, Coordenador-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas**, em 07/11/2022, às 15:49 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiano Luís de Sousa, Tecnologista**, em 08/11/2022, às 08:55 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mischel Carmen Neyra belderrain (E), Usuário Externo**, em 08/11/2022, às 21:46 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Dinah Eluze Sales Leite (E), Usuário Externo**, em 09/11/2022, às 08:58 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Milton de Freitas Chagas Junior, Chefe do Serviço de Relações Institucionais**, em 16/11/2022, às 10:00 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **10582715** e o código CRC **99928893**.

“Nós vivemos em uma ilha de conhecimento cercada por um oceano de ignorância. A medida que a nossa ilha de conhecimento aumenta, a margem da nossa ignorância também”.

John A. Wheeler

AGRADECIMENTOS

Serei eternamente grato a todas as pessoas queridas, profissionais e as organizações de suporte pela oportunidade de realizar este trabalho.

Aos meus orientadores, Dr. Fabiano Luis de Sousa e Dr. Milton de Freitas Chagas Junior por todo o apoio ao desenvolvimento deste trabalho, motivação em momentos difíceis, paciência e aos mais diversos ensinamentos.

Aos docentes e outros colaboradores da Pós-Graduação do INPE pelos conhecimentos providos em disciplinas e infraestrutura administrativa.

A todos os demais professores, mentores e orientadores que fizeram parte da minha formação profissional e pessoal.

Às chefias e colegas das áreas do INPE em que estive alocado, que apoiaram a realização do trabalho e reconheceram a sua importância no aprimoramento das práticas da organização.

As organizações internas do INPE, em especial aos colaboradores da Biblioteca pelas incontáveis consultas e treinamentos, ao CPRIME e colegas integrantes do time de projeto que formam a motivação e forneceram dados para esta pesquisa.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A minha família, especialmente meus pais Osmar e Sandra pelo apoio e amor incondicional em qualquer momento e circunstância mesmo que à distância.

A todos aqueles que me apoiaram e compreenderam a minha ausência ao escutarem “estou trabalhando no doutorado”.

A minha esposa Franciele pelo amor, carinho e convivência em todos os momentos desta jornada.

RESUMO

Este trabalho apresenta um método de avaliação, caracterização e comunicação da maturidade de riscos e incertezas para auxiliar tomadas de decisão informadas ao risco (RIDM – Risk Informed Decision Making). Os métodos de análise de riscos tradicionalmente utilizados nas fases de projeto do desenvolvimento de sistemas espaciais têm foco no gerenciamento de riscos e contam com informações oriundas de análises formais como PRA (*Probabilistic Risk Assessment*), ETA (*Event Tree Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*) e FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Entretanto, essas análises têm aplicação limitada em situações de grande incerteza e pouca disponibilidade de dados e informações detalhadas, como a fase de concepção (fase 0 da ECSS ou pré-fase A da NASA) e, principalmente, durante estudos conceituais em ambientes de engenharia simultânea. Neste tipo de ambiente, a análise de riscos é prioritariamente qualitativa e baseada na experiência e conhecimento dos especialistas. A visão ontológica objetiva do conceito risco, tipicamente adotada nas áreas de Engenharia, entra em conflito com a visão construtivista, resultando na utilização de métodos que proveem informações limitadas (i.e., lacunas de informação relevantes) ou passíveis de interpretações erradas para suportar tomadas de decisões. O método proposto neste trabalho tem como objetivo prover informações sobre os fundamentos que sustentam os riscos e incertezas identificados e julgados em um contexto de análise de risco, que permitam aos stakeholders uma avaliação ampla e clara de como tais riscos foram identificados, avaliados e caracterizados. O método desenvolvido está baseado na definição de um novo conceito integrativo de maturidade de riscos, denominado iRM (*individual Risk Maturity*), fundamentado na tese dual de riscos e composto por quatro elementos principais, que representam os aspectos de maturidade do risco em si e do seu contexto. A forma de expressão iRML (*individual Risk Maturity Level*) foi desenvolvida através de duas formas distintas. A primeira, denominada iRML híbrido, é uma construção multidimensional que utiliza um modelo hierárquico não uniforme, constituído dos atributos mais relevantes para formação da maturidade de um risco. Enquanto a segunda, denominada iRML descritivo (em escala e estratificada), constitui níveis de maturidade do iRML e seus aspectos integrados de forma descritiva, com inspiração em modelos de maturidade de capacidades e outros conceitos representados em escala (*FOMs / soft metrics*). As conclusões sobre os resultados obtidos de aplicação do método em estudo de caso mostram preferência para as abordagens de julgamento individual de atributos devido ambiguidade. De forma geral, as formas de expressão do conceito iRM são válidas na demonstração de maturidade de riscos, têm consistência, são aplicáveis no contexto pretendido e podem ter aplicação ampliada para outros contextos.

Palavras-chave: Tomadas de decisão informadas ao risco. Análise de riscos. Fase conceitual do ciclo de vida de projeto. Sistemas espaciais.

A METHOD TO ASSESS THE MATURITY OF RISKS AND UNCERTAINTIES IN THE CONCEPT DESIGN OF SPACE SYSTEMS

ABSTRACT

This thesis introduces a new method for assessing, characterizing and communicating the maturity of risks and uncertainties to assist risk-informed decision making (RIDM - Risk Informed Decision Making). The risk analysis methods traditionally used in the design phases of the development of space systems focus on risk management and rely on information from formal analyzes such as PRA (Probabilistic Risk Assessment), ETA (Event Tree Analysis), FTA (Fault Tree Analysis), and FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). However, these methods have limited application in situations of deep uncertainty and little availability of data and detailed information, such as the design phase (ECSS phase 0 or NASA pre-phase A). These characteristics are more severe during conceptual studies in concurrent engineering environments. In this type of environment, risk analysis is primarily qualitative and based on the experience and knowledge of specialists. The objective ontological view of the concept of risk, typically adopted in Engineering areas, conflicts with the constructivist view, resulting in the use of methods that provide limited information (i.e., relevant information gaps) or subject to misinterpretation to support decision making. The method proposed in this thesis aims to provide information on the fundamentals that support the risks and uncertainties identified and judged in a context of risk analysis. The aim is allowing stakeholders to have a broad and clear assessment of how such risks were identified, evaluated and characterized. The method developed is based on the definition of a new integrative concept of risk maturity, called IRM (individual Risk Maturity), which is based on the dual risk thesis and composed of four main elements, that represent the maturity aspects of the risk itself and its context. The expression form iRML (individual Risk Maturity Level) was developed through two distinct ways. The first, called hybrid iRML, is a multidimensional construction that uses a non-uniform hierarchical model, consisting of the most relevant attributes for the formation of risk maturity. The second, called descriptive iRML (scale and stratified), constitutes iRML maturity levels and their integrated aspects in a descriptive way, inspired by capability maturity models and other concepts represented in scale (FOMs / soft metrics). The conclusions about the results obtained from the application of the method in a case study show a preference for approaches with the individual judgment of attributes due to ambiguity. In general, the forms of expression of the iRM concept are valid in demonstrating risk maturity, have consistency, are applicable in the intended context and may have expanded application to other contexts.

Keywords: Risk informed decision-making. Risk analysis. Space systems concept phase. Space systems.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 – Mapa mental da estruturação da Tese.....	18
Figura 2.1 – Metodologia de pesquisa utilizada nesta Tese.....	20
Figura 3.1 - Linha do tempo das contribuições e evolução da área de análise de riscos.	26
Figura 3.2 - Caminhos evolutivos do conceito risco adotados por diferentes áreas do conhecimento ao longo do tempo.	29
Figura 3.3 - Classificação de incertezas para o projeto e desenvolvimento de sistemas complexos.	39
Figura 3.4 - Diferentes entendimentos do relacionamento entre risco e incerteza.	40
Figura 3.5 - Representação lógica dos conceitos utilizados pela NASA.	44
Figura 3.6 - Proposta de expansão da perspectiva de risco.	48
Figura 3.7 - Taxonomia de incertezas para diferentes contextos.	50
Figura 3.8 - Representação do relacionamento entre os contextos institucional, organizacional e individual a serem tratados em modelos de DMDU.	52
Figura 4.1 - Fluxo de informação no processo de tomada de decisão utilizando riscos.	57
Figura 4.2 - Arquitetura (a) e categorização das áreas de capacidades (b) do CoPS-RM-CMM.	67
Figura 5.1 - Modelo dos contextos de influência na formação da percepção de risco.	74
Figura 5.2 - Características dos sistemas cognitivos.	82
Figura 5.3 - Representação do modelo estrutural SER.....	86
Figura 5.4 - Função de valor para mudanças de ganhos e perdas (a) e não linearidade de pesos de decisão (b) propostos na Teoria da Perspectiva.	91
Figura 5.5 - Implicações da Teoria da Perspectiva no uso da matriz de riscos.	92
Figura 6.1 - Cenário genérico de desenvolvimento tecnológico.	97
Figura 6.2 - Representação da integração entre RIDM e CRM.....	98

Figura 6.3 - Etapas e ciclos no processo de gerenciamento de riscos da ECSS.	99
Figura 6.4 - Detalhamento das tarefas associadas às etapas do processo de gerenciamento de risco.	100
Figura 6.5 – Evolução sistemática de uma ideia relacionada ao CML.	104
Figura 6.6 - Formulários da ferramenta RAP. Formulário de cadastro de risco (a) e Formulário de avaliação do risco (b).	106
Figura 6.7 - Modelo integrado da formação pré-quantitativa de riscos de um time de projeto.	108
Figura 6.8 - CERIS da estação de trabalho da disciplina risco no CDF.	109
Figura 6.9 – Fundamento conceitual da análise de riscos do CDF.	110
Figura 7.1 - Representação do conceito iRM em diagrama de Veen.	116
Figura 7.2 – Ilustração da independência da caracterização do risco e do iRML.	117
Figura 7.3 – Estrutura lógica e conteúdo do texto.	118
Figura 7.4 - Modelo em vê das atividades a serem incorporadas ao processo da organização destinada ao uso do método de avaliação do iRML.	123
Figura 8.1 - Representação do conceito iRM e iRML para a fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.	125
Figura 8.2 - Relacionamentos entre os elementos de contexto e os aspectos de composição do iRM e sua forma de expressão iRML.	126
Figura 8.3 - Elementos do contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea.	126
Figura 8.4 - Relacionamentos entre os elementos de contexto e os aspectos de composição do iRM e sua forma de expressão iRML.	128
Figura 8.5 – Estrutura das seções de apresentação da abordagem iRML híbrido.	132
Figura 8.6 - Árvore de decomposição do elemento RKM.	134
Figura 8.7 - Alternativas de avaliação do atributo completude de dados confiáveis.	148
Figura 8.8 – Estrutura multi-modelos de representação conceitual para o RP&RB.	152

Figura 8.9 – Exemplo de representação lógica do cálculo do <i>IPEviés</i>	176
Figura 8.10 – Visão geral da integração do iRML híbrido.	201
Figura 8.11 - Hierarquia multinível dos atributos componentes na integração dos elementos RKML, TM&MCML e ROML.....	202
Figura 8.12 - Modelo da maturidade de riscos em escala (iRML integrado). .	212
Figura 8.13 – Comparação entre os dois modelos descritivos do iRML.....	213
Figura 9.1 - Processo de desenvolvimento experimental do estudo de caso para aplicação do iRM e avaliação do iRML.	218
Figura 9.2 - imagem da planilha para configuração do iRML híbrido.	222
Figura 9.3 - imagem da planilha de análise qualitativa de riscos do CPRIME incluindo a exibição gráfica iRML híbrido.	223
Figura 9.4 - imagem da planilha para coleta das informações para a formação do iRML híbrido.	223
Figura 9.5 - imagem da planilha para exibição detalhada dos componentes do iRML híbrido.	224
Figura 10.1 – Lógica do processamento e utilização dos dados de iRML.....	258
Figura 10.2 – Visão dinâmica de utilização dos dados de iRML.	258

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 1.1 - Identificação das contribuições de outros trabalhos e da originalidade desta Tese.	9
Tabela 3.1 - Categorias de definições de risco.	31
Tabela 3.2 - Definições qualitativas e métricas do termo risco (<i>risk</i>) adotados em organizações de interesse.....	32
Tabela 3.3 - Definições de incerteza.	38
Tabela 3.4 - Abordagens, origem teórica e interpretações de probabilidade. ...	42
Tabela 3.5 – Principais características das interpretações de probabilidade. ...	43
Tabela 3.6 - Definição de termos importantes para os conceitos risco e incerteza.	45
Tabela 3.7 - Modelo de avaliação do SoK.....	53
Tabela 3.8 - Modelo conceitual hierárquico para avaliação de SoK.....	55
Tabela 4.1 - Definições de termos do processo de tratamento de riscos.	62
Tabela 4.2 - Modelo de maturidade de capacidades de gerenciamento de risco RMM.	64
Tabela 4.3 - Descrição geral dos níveis de maturidade do CoPS-RM-CMM....	67
Tabela 5.1 - Definição dos vieses de otimismo, falácia do planejamento com visão interna, efeito da ancoragem e efeito da ambiguidade.	85
Tabela 6.1 – Definições dos níveis de maturidade de conceito (CML).....	103
Tabela 6.2 - Métodos de análise de riscos propostos para a fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.	113
Tabela 7.1 – Distribuição de apresentação dos elementos do método desenvolvido.	118
Tabela 8.1 - Definições, formas de expressão, fundamentação e propósitos dos componentes do iRM.	129
Tabela 8.2 - Definições e fundamentação dos componentes do RKM.....	135
Tabela 8.3 - Alternativas de decisão e os valores de maturidade dos atributos da medida RKML.....	142

Tabela 8.4 – Resultados da análise para seleção de vieses investigados no RP&RB.	155
Tabela 8.5 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de otimismo.....	159
Tabela 8.6 – Relacionamento lógico e justificativas para a análise de existência do viés de falácia do planejamento.	163
Tabela 8.7 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de ancoragem.	167
Tabela 8.8 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de efeito da ambiguidade.....	172
Tabela 8.9 - Determinação dos pesos considerados para o relacionamento entre a possibilidade de existência dos vieses com os atributos de avaliação do RKML.	176
Tabela 8.10 - Modelos individuais de determinação do índice de possibilidade de existência dos vieses.....	178
Tabela 8.11 - Definições, categorias e modelo conceitual adotado para os conceitos de atitude e comportamento ao risco.	179
Tabela 8.12 - Influências da atitude ao risco no comportamento para diferentes etapas do processo de gerenciamento de risco.....	181
Tabela 8.13 - Análise de potencial contribuição e dificuldades da utilização de conceitos relacionados à maturidade tecnológica da área espacial.....	186
Tabela 8.14 - Análise lógica da formação do componente tecnológico do TM&MCM.	189
Tabela 8.15 - Sumário das características de modelos de maturidade de gerenciamento de risco.....	195
Tabela 8.16 - Componentes, áreas e categorias de capacidades do modelo CoPS-RM-CMM.	197
Tabela 8.17 - Caracterização dos níveis do modelo CoPS-RM-CMM.....	199
Tabela 8.18 - Sumário de flexibilidade de métodos de atribuição de pesos e forma de avaliação dos níveis hierárquicos do índice principal do iRML híbrido..	204

Tabela 8.19 - Métodos propostos de atribuição de pesos para os níveis 1 e 2 da hierarquia de atributos do iRML híbrido.	208
Tabela 8.20 - Formas de integração e expressão dos elementos do iRML híbrido.	211
Tabela 8.21 – Definições do <i>modelo da maturidade de riscos em escala</i> (escala iRML).	214
Tabela 8.22 - Definições do <i>modelo estratificado da maturidade de riscos</i> (por aspecto de maturidade).....	215
Tabela 9.1 – Resultados gerais obtidos do estudo de caso.	225
Tabela 9.2 - Resultados das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML descritiva em escala e híbrido para o estudo de caso.....	226
Tabela 9.3 - Respostas do questionário (Q1 – Q5) das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML para o estudo de caso.	227
Tabela 9.4 - Respostas do questionário (Q6 – Q10) das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML para o estudo de caso.	228
Tabela 9.5 - Detalhamento das avaliações dos elementos do iRML nas abordagens descritivas (escala e estratificado).....	231
Tabela 9.6 - Comparação dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados (abordagens descritivas do iRML).....	233
Tabela 9.7 - Comparação dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados (abordagem iRML híbrido).	234
Tabela 9.8 – Comparação geral dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados.	235
Tabela 9.9 - Validação experimental do estudo de caso.	241
Tabela 10.1 – Análise comparativa de métodos encontrados na literatura e desenvolvido neste trabalho quanto aos aspectos de maturidade do iRM.....	246

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C. ou AC	antes de Cristo
ACERT	<i>Advanced Concepts Evaluating Risk Tool</i>
ACO	<i>Advanced Concepts Office</i>
AD ²	Advancement Degree of Difficulty Assessment
Ad Hoc	(destinado a essa finalidade)
AEB	Agência Espacial Brasileira
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APM (UK)	<i>Association for Project Management (United Kingdom)</i>
APPEL	<i>Academy of Program/Project & Engineering Leadership</i>
ACT-R	<i>Adaptive Control of Thought—Rational</i>
b.C. ou BC	depois de Cristo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDF	<i>Concurrent Design Facility</i>
CDR	<i>Critical Design Review</i>
CML	<i>Concept Maturity Level</i>
CMM	<i>Capability Maturity Model</i>
CMMI	<i>Capability Maturity Model Integration</i>
CoB	<i>Capacidade do Processo de Obtenção ou Busca de Dados e Informações</i>
CoPS	<i>Complex Product Systems</i>
CoPS-RM- CMM	<i>Risk Management Capability Maturity Model for Complex Product Systems</i>
CPRIME	Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
CPT	<i>Cumulative Prospect Theory</i>
CRM	<i>Continuous Risk Management</i>
CSR	<i>Concept Study Report</i>
DDP	<i>Defect Detection & Prevention</i>
D&FA	Disponibilidade e Facilidade de Acesso
DIKW	<i>Data Information Knowledge Wisdom</i>

DMIR	<i>Decision-Making Informed by Risk</i>
DMDU	<i>Decision-Making Under Deep Uncertainty</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
DSRM	<i>Design Science Research Methodology</i>
DST	<i>Dempster-Shafer Theory</i>
DoD	<i>Department of Defence</i>
DR	<i>Direct Rating</i>
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
EFQM	<i>European Foundation for Quality Management</i>
e.g.	<i>exempli gratia (por exemplo)</i>
EMIL	<i>EMergence In the Loop</i>
EPIC	<i>Executive-Process/Interactive Control</i>
EPRA	<i>Expected Productivity-based Risk Analysis</i>
EQUARS	<i>Equatorial Atmosphere Research Satellite</i>
ERM	<i>Enterprise Risk Management</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESTEC	<i>European Space Research and Technology Centre</i>
ETA	<i>Event Tree Analysis</i>
EU	<i>Expected Utility</i>
EV	<i>Expected Value</i>
EVM	<i>Earned Value Management</i>
EW	<i>Equal Weights</i>
FFDM	<i>Function–Failure Design Method</i>
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>
FMO	<i>Functional Matrix Organization</i>
FNE	<i>Fear of Negative Evaluation</i>
FOM	<i>Figure of Merit</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
GSFC	<i>Goddard Space Flight Center</i>
IDM	<i>Integrated Design Model</i>
i.e.	<i>id est (ou seja)</i>
IF	<i>Innovation Foundry</i>
INCOSE	<i>International Council on Systems Engineering</i>
INPE	<i>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</i>

IMATEC	Índice de Maturidade Tecnológica
IPE _{viés}	Índice de Possibilidade de Existência de viéses
IRKDM	<i>Integrated Approach to Risk Management, Knowledge Management and Decision Making</i>
IRL	<i>Integration Readiness Level</i>
iRM	<i>individual Risk Maturity</i>
iRML	<i>individual Risk Maturity Level</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JPL	<i>Jet Propulsion Laboratory</i>
K _{RA}	Conhecimento do Avaliador do Risco (<i>Risk Assessor Knowledge</i>)
K _{SME}	Conhecimento da Comunidade da Área (<i>Subject Matter Experts Knowledge</i>)
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
MAPM	<i>Multi-Attribute Preference Model</i>
MAUT	<i>Multi-Attribute Utility Theory</i>
MAVT	<i>Multi-Attribute Value Theory</i>
MCR	<i>Mission Concept Review</i>
MRL	<i>Manufacturing Readiness Level</i>
MSFC	<i>Marshall Spaceflight Center</i>
NBR	Norma Brasileira
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDR	<i>Mission Definition Review</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NUSAP	<i>Numeral, Unit, Spread, Assessment and Pedigree</i>
OCDT	<i>Open Concurrent Design Tool</i>
PA	<i>Point Allocation</i>
PBO	<i>Project-Based Organization</i>
PCDs	<i>Probability-Consequence Diagrams</i>
pdf	<i>Probability Density Function</i>
PDR	<i>Preliminary Design Review</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PI	<i>Principal Investigator</i>
PM	<i>Project Management</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>

PMSR	<i>Preliminary Mission System Review</i>
PRA	<i>Probabilistic Risk Assessment</i>
P _{ROT}	<i>Grau de Proteção de Informações Estratégicas ou Críticas</i>
QRA	<i>Quantitative Risk Analysis</i>
RAP	<i>Risk and Rationale Assessment Program</i>
RARA	<i>Risk Appetite - Risk Attitude</i>
RBDM	<i>Risk-Based Decision Making</i>
RED	<i>Risk in Early Design</i>
R&D	<i>Research and Development</i>
R&D ³	<i>Research and Development Degree of Difficulty</i>
RI ³	<i>Risk Identification, Integration & Illities</i>
RIDM	<i>Risk-Informed Decision Making</i>
RKM	<i>Risk Knowledge Maturity</i>
RM	<i>Risk Management</i>
RMM	<i>Risk Maturity Model</i>
RMMM	<i>Risk Management Maturity Model</i>
ROC	<i>Rank Order Centroid</i>
ROM	<i>Risk Organizational Maturity</i>
RP&RB	<i>Risk Perception and Risk Behavior</i>
RUBIC	<i>Risk and Uncertainty Based Concurrent Integrated Design Methodology</i>
SBS	<i>System Breackdown Structure</i>
SEI	<i>Software Engineering Institute</i>
SER	<i>Subjective Evaluation of Risk</i>
SEU	<i>Subjective Expected Utility</i>
SMART	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique</i>
SMARTER	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks</i>
SMARTS	<i>Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings</i>
SME	<i>Subject-Matter Expert</i>
SoK	<i>Strength of Knowledge</i>
SoS	<i>System of Systems</i>
SRA	<i>Society for Risk Analysis</i>
SRL	<i>System Readiness Level</i>
SSYSTER	<i>Space System Technical Risk Database</i>

TA	<i>Technology Assessment</i>
TMA	<i>Technology Maturity Assessment</i>
TM&MCM	<i>Technological Maturity and Mission Concept Maturity</i>
TNV	<i>Technology Need Value</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
TRA	<i>Technology Readiness Assessment</i>
TRRA	<i>Technology Readiness and Risk Assessment</i>
WBGU	<i>German Advisory Council on Global Change</i>
WoE	<i>Weight of Evidence</i>
YoE	<i>Years of Experience</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Contexto da pesquisa	2
1.2 Motivação	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivos específicos	6
1.4 Contribuições, aplicabilidade, generalidade e originalidade	6
1.5 Resumo estendido.....	15
1.6 Estrutura da Tese	17
2 FORMULAÇÃO DA PESQUISA E METODOLOGIA	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITOS BÁSICOS.....	23
3.1 Histórico e fundamentos do risco.....	23
3.2 Terminologias e conceitos	27
3.2.1 Risco	27
3.2.2 Incerteza	38
3.2.3 Interpretações e relacionamentos entre os conceitos risco e incerteza	40
3.2.4 Probabilidade.....	41
3.2.5 Outros termos relacionados.....	43
3.2.5.1 O relacionamento entre conhecimento, risco e incerteza	45
3.3 Tratamento de riscos e incertezas.....	47
3.3.1 A taxonomia de diferentes níveis de incerteza.....	49
3.3.2 Força do Conhecimento (Strength of Knowledge – SoK)	52
4 PROCESSOS DE ANÁLISE DE RISCOS E TOMADAS DE DECISÃO	56
4.1 Análise de riscos em processos de tomada de decisão	58
4.2 Gerenciamento de riscos	60
4.2.1 Modelos de maturidade de capacidades em gerenciamento de risco	61
5 INFLUÊNCIA DA PSICOLOGIA E FATORES SOCIOCULTURAIS EM TOMADAS DE DECISÃO E ANÁLISE DE RISCOS	69

5.1	Percepção de risco	71
5.1.1	Heurísticas	75
5.1.2	Programa de heurísticas e vieses	77
5.1.3	Sistemas cognitivos e a arquitetura de cognição	80
5.1.4	Vieses e abordagens para mitigação em projetos da área espacial	83
5.2	Atitude e comportamento ao risco	85
5.3	Fundamentação dos modelos de tomadas de decisão.....	88
6	ANÁLISE DE RISCOS NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS	93
6.1	Fundamentos da análise de risco na área espacial.....	93
6.1.1	Riscos de aspectos tecnológicos na área espacial.....	94
6.2	Análise de riscos na NASA.....	97
6.3	Análise de riscos na ESA.....	98
6.4	Análise de riscos na fase de concepção do ciclo de vida de sistemas espaciais	100
6.4.1	Análise de riscos na fase conceitual no Jet Propulsion Laboratory – JPL/NASA	102
6.4.2	Análise de riscos na fase conceitual no <i>European Space Research and Technology Centre</i> – ESTEC/ESA.....	108
6.5	Análise de riscos no desenvolvimento de sistemas espaciais no INPE... ..	110
6.6	Outros métodos para análise de risco na Fase Conceitual do Desenvolvimento de Sistemas Espaciais.....	111
7	FUNDAMENTOS DO MÉTODO PARA AVALIAR A MATURIDADE DE RISCOS E INCERTEZAS.....	114
7.1	Fundamentação do conceito iRM (<i>individual Risk Maturity</i>)	119
7.2	Definições do conceito Maturidade do Risco Individual (iRM) e sua forma de expressão (iRML)	121
7.3	Processo de avaliação da maturidade de riscos para auxiliar RIDM	122
8	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DE RISCOS PARA FASE CONCEITUAL DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS	124
8.1	Abordagem iRML híbrido	132
8.1.1	Maturidade de Conhecimento do Risco (RKM).....	132

8.1.1.1	Conceitos e modelo do RKM	134
8.1.1.2	Composição e avaliação do RKML	140
8.1.1.3	Discussão sobre fatos e valores na avaliação do RKML	147
8.1.2	Percepção e Comportamento ao Risco (RP&RB).....	149
8.1.2.1	Conceitos e modelo do RP&RB	151
8.1.2.2	Percepção de risco e a possibilidade de existência de vieses	153
8.1.2.2.1	Seleção dos vieses investigados no RP&RB	154
8.1.2.2.2	Relacionamentos lógicos da possibilidade de existência de vieses.....	156
8.1.2.2.3	Modelo para determinação da possibilidade de existência de vieses..	175
8.1.2.3	Comportamento e atitude ao risco	179
8.1.2.3.1	Método e modelo para representação do comportamento ao risco	182
8.1.3	Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão (TM&MCM)	184
8.1.3.1	Conceitos e modelo do TM&MCM	184
8.1.3.1.1	Componente tecnológica no TM&MCM	185
8.1.3.1.2	Componente de maturidade do projeto conceitual no TM&MCM...	190
8.1.3.1.3	Modelo do TM&MCM e a sua medida.....	191
8.1.4	Maturidade da Organização ao Risco (ROM)	192
8.1.5	Integração e interface de comunicação do iRML híbrido	201
8.1.5.1	Modelo de avaliação multicritérios do iRML.....	203
8.1.5.1.1	Métodos e flexibilizações de atribuição de pesos	203
8.1.5.1.2	Modelo de agregação do índice principal do iRML híbrido	209
8.1.5.2	Forma de comunicação do iRML híbrido	210
8.2	Abordagens descritivas do iRML	212
9	ESTUDO DE CASO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO iRML.....	217
9.1	Aplicação do método de avaliação de maturidade de riscos em Estudo de Caso	217
9.1.1	Planejamento experimental.....	219
9.1.2	Preparação do material.....	220
9.1.2.1	Ferramenta automatizada para avaliação do iRML híbrido.....	221
9.1.3	Execução experimental.....	224

9.1.4	Coleta dos resultados	224
9.1.5	Análise e discussão dos resultados	229
9.1.5.1	Análise das dificuldades e comentários dos entrevistados	237
9.1.6	Validação dos objetivos experimentais	240
10	DISCUSSÕES	243
10.1	Interrelação entre as abordagens de iRML	243
10.2	Comparação com métodos da literatura	244
10.3	Aplicação e utilidade do método	253
10.4	Lições aprendidas da pesquisa.....	255
11	CONCLUSÃO	259
11.1	Originalidade.....	261
11.2	Generalidade	262
11.3	Aplicabilidade.....	263
11.4	Trabalhos futuros	263
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	265
	APÊNDICE A – REVISÃO HISTÓRICA DO RISCO.....	305
	APÊNDICE B - REVISÃO DAS TEORIAS E INTERPRETAÇÕES DE PROBABILIDADE	307
	APÊNDICE C – LINHAS DE PESQUISA, MODELOS E ABORDAGENS DE MEDIDA OU REPRESENTAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE RISCO	317
	APÊNDICE D – INVESTIGAÇÃO DE VIESES NA ANÁLISE DE RISCOS ESPACIAIS – Emmons (2017).....	329
	APÊNDICE E - TEORIA E FUNDAMENTOS DOS VIESES DE OTIMISMO, FALÁCIA DO PLANEJAMENTO COM VISÃO INTERNA, EFEITO DA ANCORAGEM E EFEITO DA AMBIGUIDADE.....	334
	APÊNDICE F - EXTENSÃO DA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE VIESES E ABORDAGENS DE MITIGAÇÃO UTILIZADOS NA ÁREA ESPACIAL	347
	APÊNDICE G – FUNDAMENTAÇÃO, MÉTODOS E MEDIDAS DE ATITUDE, PREFERÊNCIAS E COMPORTAMENTO AO RISCO	352
	APÊNDICE H - DETALHAMENTO DO PROCESSO GENÉRICO DE UTILIZAÇÃO DO MÉTODO iRML.....	377

APÊNDICE I - ANÁLISE COMPARATIVA DE COMPOSIÇÃO DO RKM E DIFERENTES MODELOS DE SOK	382
APÊNDICE J - DISCUSSÃO CONCEITUAL E COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS SER E RARA.....	386
APÊNDICE K - DISCUSSÃO SOBRE O MÉTODO DE QUESTIONÁRIO DIRETO UTILIZADO PARA IDENTIFICAR O COMPORTAMENTO AO RISCO DO ELEMENTO RP&RB	391
APÊNDICE L – PROBLEMAS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS, ATRIBUIÇÃO DE PESOS E MODELOS DE AGREGAÇÃO.....	394
APÊNDICE M - CONTEXTO E INTEGRAÇÃO DO MÉTODO iRML PARA O CPRIME	414
APÊNDICE N - GUIA DE ENTREVISTA E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO iRML PARA O ESTUDO DE CASO – ESTUDO CONCEITUAL	431
APÊNDICE O - RESPOSTAS AOS COMENTÁRIOS E SUGESTÕES DOS ENTREVISTADOS SOBRE O USO DO iRML PARA O ESTUDO DE CASO – ESTUDO CONCEITUAL	440
ANEXO A - ANÁLISE DE RISCO EM ESTUDOS CONCEITUAIS DE MISSÃO DO TEAM-X/NASA E CDF/ESTEC-ESA.....	446

1 INTRODUÇÃO

As abordagens de análise de risco tradicionalmente utilizadas nas fases de projeto, tipicamente fases B e C do desenvolvimento de sistemas espaciais (ECSS, 2009; NASA, 2016a), têm aplicação limitada em situações de grande incerteza e pouca disponibilidade de dados e informações, como a fase de concepção, denominada de *Phase 0 – Mission analysis/need identification* na ECSS (ECSS, 2009) e *Pre-Phase A – Concept studies* na NASA (NASA, 2014).

Enquanto o gerenciamento de riscos nas fases de projeto utiliza dados e informações oriundos de métodos formais como PRA (*Probabilistic Risk Assessment*), ETA (*Event Tree Analysis*), FTA (*Fault Tree Analysis*) e FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), a fase conceitual tipicamente não adota práticas dessa natureza pelas limitações e propósitos desse estágio de desenvolvimento.

Com o objetivo de facilitar a rápida exploração de conceitos viáveis de solução para a arquitetura completa de uma missão espacial na fase conceitual, diversas organizações utilizam a abordagem de engenharia simultânea em ambientes específicos de projeto - *concurrent engineering facilities* ou *concurrent design center* (KNOLL; FORTIN; GOLKAR, 2018) - e times de projeto especializados - *concurrent engineering team* (HIHN; CHATTOPADHYAY, 2021).

A análise de riscos neste tipo de ambiente tem o objetivo de capturar (identificar), avaliar e comunicar preliminarmente os riscos a serem tratados com maior atenção em etapas futuras de projeto, a partir das soluções de arquitetura exploradas durante um estudo (HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2012). Com esse objetivo, abordagens qualitativas de análise de riscos são normalmente empregadas em um contexto com poucos dados e informações disponíveis. Neste cenário, a experiência e o conhecimento dos especialistas participantes do estudo conceitual são fatores essenciais durante a análise de riscos (MESHKAT; SHAPIRO, 2005; MESHKAT, 2007; HIHN et al., 2010).

Portanto, as metodologias de análise de riscos a serem empregadas neste tipo de ambiente devem ter a capacidade de evidenciar as incertezas, principalmente de natureza epistêmica (BORGES et al., 2022), envolvidas durante o processo

e disponibilizá-las aos futuros usuários (FJAERAN; AVEN, 2021b), como suporte para tomadas de decisão informadas ao risco (*Risk Informed Decision-Making - RIDM* (NASA, 2010; MORALES-TORRES et al., 2019), como na construção de confiança (FJAERAN; AVEN, 2021a).

Esta Tese apresenta o desenvolvimento e resultados da pesquisa voltada para a proposição conceitual e aplicada de um método. O método se propõe a tratar do desafio no âmbito teórico e prático quanto à disponibilização de informações relevantes que suportam a análise de riscos em condições de grande incerteza.

O desenvolvimento e aplicação da pesquisa se dá no contexto de desenvolvimento de sistemas espaciais, entretanto, desenvolve novos conceitos que geram conhecimento genérico à disciplina de análise de riscos ou ciência da análise de riscos (*Risk Science* (AVEN, 2018a, 2019a)) e, ao mesmo tempo, a sua generalidade é discutida quanto aplicação para outros sistemas complexos.

1.1 Contexto da pesquisa

A definição dos conceitos, interpretação (conceitualização) e as formas de descrição ou expressão (e.g., medida) de risco e incerteza são discutidos amplamente na literatura, não existindo um modelo único e bem estabelecido (AVEN, 2012b). Diferentes organizações tem realizado esforços no sentido de desenvolver conceitos e princípios fundamentais gerais (e.g., SRA (SRA, 2018a, 2018b), mas não há um consenso formalmente estabelecido.

Algumas questões fundamentais são inconclusivas nas discussões acadêmicas, existindo visões e abordagens filosóficas distintas ou até conflitantes (GOERLANDT; MONTEWKA, 2015a; GOERLANDT; RENIERS, 2017; AVEN, 2018c; LOGAN et al., 2021). As correntes antagônicas entre “subjetivismo” e “objetivismo” (HANSSON, 2010; NOBANEE et al., 2021), métodos probabilísticos e não probabilísticos (SHORTRIDGE; AVEN; GUIKEMA, 2017), diferentes interpretações de probabilidade (GALAVOTTI, 2017), diferentes princípios e estratégias de gerenciamento (AVEN, 2019b) e as discussões sobre fatos ou valores na análise de riscos (HANSSON; AVEN, 2014) estão entre os principais tópicos de discussões fundamentais da disciplina Análise de Riscos.

Em algumas situações, assim como nesta pesquisa, a necessidade de se considerar visões conceituais conflitantes em um único modelo (e.g., realismo e construtivismo (GOERLANDT; MONTEWKA, 2015b)) é solucionada através da utilização de perspectivas integrativas (*integrative perspectives* (KLINKE; RENN; GOBLE, 2021)).

A integração de diferentes perspectivas, como a união de formas quantitativas e qualitativas em abordagens mais generalistas (i.e., *semi-quantitative risk analysis approaches* (AVEN, 2008; BERNER; FLAGE, 2017)) e a caracterização de risco através de fatos objetivos do mundo físico (metafísica) e fatores relacionados à construção mental dos indivíduos (i.e., *the dual risk thesis* (HANSSON, 2010)) são importantes abordagens para situações como a análise de risco sob grande incerteza, como o contexto específico de aplicabilidade desse trabalho.

1.2 Motivação

Dentre as dificuldades da disciplina Análise de Riscos que impactam a sua consolidação como área de conhecimento própria (i.e., *risk science* (AVEN, 2022)) e o estabelecimento de seus princípios fundamentais (SRA, 2018b), destacam-se os seguintes desafios, discutidos em Aven e Zio (2014) e Aven e Flage (2020), que estão relacionados à motivação e contribuição científica do presente trabalho de pesquisa:

- a) caracterização, representação, propagação e interpretação de incertezas;
- b) apresentação apropriada do conhecimento e informação (como suporte para análise e decisões);
- c) abordagens apropriadas para situações de grande incerteza;
- d) como desenvolver um *framework* integrativo para conectar abordagens analíticas e cognitivas para a área de análise de riscos;
- e) como descrever e representar os resultados da avaliação de risco de forma que apresente claramente as premissas e justificativas utilizadas com respeito ao conhecimento de suporte.

O desafio do tratamento de riscos em situações de grande incerteza, como estudos conceituais em engenharia simultânea realizados tipicamente na fase de concepção do ciclo de vida de sistemas espaciais (JAHNKE et al., 2018; CASE et al., 2021), caracteriza a motivação geral de aplicação deste trabalho. Segundo Lough et al. (2009), a fase de concepção de um projeto representa o período de oportunidade para minimização de potenciais riscos ao menor custo possível. Entretanto, os aspectos de projeto e soluções conceituais são tratados em alto nível por tratar-se de um contexto de grande incerteza.

Segundo a taxonomia de níveis de incerteza proposta por Walker et al. (2003) e modificada em Marchau et al. (2019), a análise de riscos sob grande incertezas (*deep uncertainty*) requer abordagens adaptativas e robustas, em contradição aos propósitos das técnicas tradicionais de análise de risco quantitativas - *Quantitative Risk Analysis* (QRA) (PASMAN; ROGERS; MANNAN, 2017), como a análise de riscos probabilística - *Probabilistic Risk Assessment* (PRA) (SHORTRIDGE; AVEN; GUIKEMA, 2017), que buscam estimar ou prever riscos da forma mais precisa possível.

Entretanto, as pesquisas que investigam a adequação de diferentes métodos para tratamento de situações de grande incerteza de Cox (2012) e Stanton e Roelich (2021) concluem que não há um modelo consolidado e universalmente aplicável.

Além de influências do contexto (e.g., organizacional), a análise de riscos na fase de concepção de um sistema espacial normalmente conta com pequena disponibilidade de dados e informações, limitando o conhecimento. Segundo Jensen e Aven (2018), esse tipo de contexto caracteriza uma análise de riscos complexa, que exige o uso extensivo do conhecimento, experiência e lições aprendidas dos especialistas envolvidos.

Portanto, os métodos e ferramentas de análise de riscos a serem empregados neste ambiente devem ser apropriados a estas condições. Este é o principal desafio abordado neste trabalho de pesquisa.

A disciplina Análise de Riscos é parte integrante do Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais (CPRIME) do INPE (CHAGAS et al., 2019) e enfrenta

diversos desafios quanto ao estabelecimento de uma metodologia estável de identificação, avaliação e comunicação dos riscos e incertezas. Onde os resultados da análise de riscos servem para apoiar futuras decisões relacionadas aos rumos do projeto e para informar os pontos de atenção das soluções investigadas aos times de desenvolvimento.

Problemas da mesma natureza são relatados e discutidos na literatura por integrantes de outros centros de engenharia simultânea. Por exemplo, Hihn et al. (2012) e Hihn et al. (2010) apontam os desafios enfrentados no Team-X, time de engenharia simultânea do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da NASA, pioneiro no setor espacial (CASE et al., 2021). Dentre os desafios, destacam-se a grande variância na qualidade de registro dos riscos, a falta de rigor no processo de identificação de riscos, inconsistências de avaliação de riscos similares em diferentes estudos, dificuldade no estabelecimento das categorias de probabilidade e impacto, e divergência na avaliação dos especialistas.

Nota-se que os problemas apontados estão relacionados à natureza subjetiva da atividade de análise de riscos. Os trabalhos mais recentes encontrados, relacionados à análise de riscos do Team-X mostram a busca por formas de integrar elementos da psicologia de risco ao método utilizado pelo centro. Por exemplo, os trabalhos de Rosenberg et al. (2013) e Hihn et al. (2011) buscam capturar o modelo mental (cognitivo) de engenheiros durante a identificação e avaliação de riscos. O trabalho de pesquisa de Cooper (2008, 2011) busca compreender e modelar como os times de especialistas entendem risco e como funciona o processo de formação compartilhada do modelo mental de riscos "pré-quantitativos". Apesar das publicações encontradas na literatura, não foram identificadas evidências e informações sobre a utilização dos modelos na prática.

1.3 Objetivos

A partir da observação dos desafios fundamentais, das dificuldades e lacunas na análise de riscos em situações de grande incerteza, como em ambientes de engenharia simultânea (e.g., CPRIME/INPE), esse trabalho de pesquisa busca

gerar conhecimento à disciplina de Análise de Riscos ao desenvolver soluções conceitualmente estruturadas e práticas para o problema identificado.

O objetivo geral desta Tese é desenvolver um método para avaliar a maturidade de riscos e incertezas em complemento à análise de riscos realizada em situações de grande incerteza, para prover suporte em tomadas de decisão informadas ao risco (RIDM). O contexto de desenvolvimento e aplicação é a análise de riscos em estudos conceituais realizados em ambientes de engenharia simultânea, tipicamente realizados na fase de concepção do desenvolvimento de sistemas espaciais.

1.3.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da Tese são declarados abaixo:

- a) desenvolver o arcabouço conceitual e um modelo integrativo para estruturar as informações sobre a maturidade de riscos e incertezas;
- b) desenvolver uma forma de expressar (métrica/descrição) e apresentar (comunicar) a maturidade de riscos e incertezas para prover suporte em RIDM;
- c) desenvolver o processo de utilização do método proposto, genérico e aplicado ao ambiente CPRIME;
- d) demonstrar a eficácia, utilidade e consistência de aplicação do método proposto no contexto de fase conceitual e em ambiente de engenharia simultânea.

1.4 Contribuições, aplicabilidade, generalidade e originalidade

As contribuições deste trabalho podem ser classificadas em três níveis hierarquicamente relacionados. O nível de fundamentação da disciplina Análise de Riscos com contribuição científica genérica - *generic risk research* (AVEN, 2016c). O nível de contribuição de aplicação geral para a análise de riscos no

desenvolvimento de sistemas complexos em situações de grande incerteza. E o nível de contribuição específica com a proposição do método para o CPRIME.

A contribuição da pesquisa realizada para o nível científico genérico é observada pelo interesse de periódicos (*journals*), artigos, eventos científicos, organizações de pesquisa e o crescente número de pesquisadores sobre o assunto de análise de riscos na busca de encontrar soluções para os desafios atuais da disciplina e estabelecer os fundamentos dessa área como uma área científica própria (AVEN, 2018c; AVEN; FLAGE, 2020).

No nível de contribuição geral, a utilidade de soluções integrativas (AVEN, 2018d; BORGONOVO et al., 2018; KLINKE; RENN; GOBLE, 2021) é entendida como imprescindível para o sucesso na realização de projetos complexos, como o desenvolvimento de sistemas espaciais, sistemas ciberfísicos (CPS) modernos e organizações de complicadas estruturas sociotécnicas (ZIO, 2018).

A contribuição específica da pesquisa é prover artefatos conceitualmente estruturados que contribuam para as estratégias de análise de riscos do CPRIME, com o objetivo de prover informações complementares e que permitam uma compreensão mais abrangente dos riscos e incertezas identificados em estudos conceituais de missões espaciais. Portanto, o método desenvolvido visa complementar e dar robustez à análise de riscos para suportar a utilização dos seus resultados (e.g., RIDM) em situações de grande incerteza.

A estrutura conceitual e artefato desenvolvidos neste trabalho aplicam-se aos contextos em que o conhecimento, aspectos tecnológicos, organizacionais e psicológicos-sociais relacionados aos riscos são fundamentais para o entendimento de como os riscos são descritos e caracterizados. Esta natureza de contexto é tipicamente encontrada na fase conceitual do desenvolvimento de projetos de sistemas complexos, neste trabalho, focado em sistemas espaciais.

A generalidade da pesquisa está relacionada à utilização de elementos conceituais genéricos do desenvolvimento de sistemas complexos e que envolvem tecnologias avançadas, além da utilização de uma visão *top-down* para o desenvolvimento da solução proposta, permitindo a sua adequabilidade para outras situações e naturezas de atividades.

Além da estrutura conceitual e modelos desenvolvidos, a originalidade da pesquisa também está na integração de perspectivas de diferentes naturezas conceituais em uma abordagem singular. Isso permite a coexistência de visões distintas e até “filosoficamente conflitantes”, relacionadas aos fundamentos da disciplina Análise de Riscos.

A Tabela 1.1 apresenta uma análise comparativa de publicações relacionadas e relevantes para essa tese. A análise comparativa tem o objetivo de colaborar com a identificação da contribuição de originalidade da tese. Assim, as linhas da tabela indicam as publicações, as colunas, os assuntos de interesse, e a última linha consolida as contribuições desta tese.

Tabela 1.1 - Identificação das contribuições de outros trabalhos e da originalidade desta Tese.

Referência	Fundamentos e conceituação de risco	Psicologia e Ciências sociais (tomadas de decisão)	Aspectos de maturidade (contexto)	Ferramentas e abordagens	Outros aspectos
Aven (2016c)	Apresenta uma revisão abrangente sobre os fundamentos, conceitos, estratégias e princípios do gerenciamento e análise de riscos como uma disciplina científica. Incentiva a conceituação do risco através de pensamento integrativo com evidência/caracterização de conhecimento, surpresas e imprevisibilidades.	Apresenta o modelo genérico dos estágios de RIDM, considerando a diferenciação entre estágios baseados em fatos e valores.	Não identificado.	Apresenta genericamente algumas abordagens para tratamento de risco e incerteza (aleatória e epistêmica) com relação aos princípios e estratégias.	Apresenta a evolução da área de risco para uma nova perspectiva e apresenta uma visão de futuro com alguns desafios a serem tratados. Apresenta a visão do autor (críticas e julgamentos) sobre algumas abordagens tradicionalmente utilizadas.
Cooper (2011)	Apresenta o conceito risco, incerteza e elementos complementares identificados através da interpretação do modelo mental extraído de um estudo de engenharia simultânea (Team-X). Identifica o vocabulário utilizado para referenciar riscos nas seções de projeto e sugere um modelo pré-quantitativo representativo das iterações.	Apresenta o modelo mental de um time de projeto em ambiente de engenharia simultânea, representando como ocorrem as iterações, estratégias, comunicação e julgamentos com relação a identificação, avaliação e apresentação dos riscos.	Não identificados	Discute a utilidade da matriz 5x5 e apresenta a visão da autora com base nas observações realizadas.	Não identificado.
Aven (2018d)	Apresenta a conceituação de risco e incerteza com relação a dicotomia de Sistema1 (intuição) - Sistema2 (racionalidade) (KAHNEMAN, 2003b). Apresenta a distinção entre significado de risco, avaliação de risco, caracterização de risco, percepção de risco e gerenciamento de risco.	O foco do artigo é na percepção de risco e comportamento humano em tomadas de decisão relacionando a teoria da perspectiva (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979).	Não identificado.	Apresenta uma proposta de <i>framework</i> e também uma metodologia para utilizar os dois modos cognitivos Sistema1 e Sistema2 (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979) na avaliação e gerenciamento de riscos.	Apresenta a percepção do autor quanto a não integração do modo cognitivo Sistema1 nos métodos tradicionais de avaliação e gerenciamento de risco. Ressalta a importância de considerar o Sistema1 para a “nova perspectiva de risco” defendida pelo autor.

continua

Tabela 1.1 – Continuação.

Referência	Fundamentos e conceituação de risco	Psicologia e Ciências sociais (tomadas de decisão)	Aspectos de maturidade (contexto)	Ferramentas e abordagens	Outros aspectos
Mankins (2009b)	Não identificado.	Não identificado.	Apresenta o desafio de programas de pesquisa e desenvolvimento (R&D) ao medir os riscos associados a introdução de tecnologias, utilizando a escala TRL (<i>Technology Readiness Level</i>) como elemento principal.	Apresenta a integração do TRL e a matriz de risco com duas figuras de mérito (FOM): R&D ³ (<i>Research and Development Degree of Difficulty</i>) e TNV (<i>Technology Need Value</i>), formando a abordagem TRRA (<i>Technology Readiness and Risk Assessment</i>). O TRRA permite a visualização e acompanhamento do nível de risco com objetivo de suportar tomadas de decisão e direcionamento de esforços em projetos.	O foco deste artigo está na medição do nível de risco através da combinação da maturidade tecnológica, a dificuldade de maturação e a importância da tecnologia para o sistema.
Goerlandt e Reniers (2016)	Apresenta os fundamentos e conceitos adotados em diferentes propostas de representação de incertezas em diagramas de risco (<i>Probability-Consequence Diagrams – PCDS</i>). Como contribuição do trabalho, os autores apresentam duas novas propostas de representação de incertezas em matrizes de risco e fundamenta os conceitos adotados para risco, incerteza e termos relacionados em uma perspectiva de risco baseado em incerteza (<i>uncertainty-based risk perspective</i>): R ~ (A, C, Ps, SE/K) ou R ~ (A, C, Ps, SE, Q _{qi} /K) Onde, A = eventos, C = consequências, Ps = probabilidade subjetiva, SE = força de evidências, K = conhecimento disponível, Q _{qi} = medida qualitativa de incertezas (e.g., a possibilidade de surpresas ou desvios).	Não identificado.	Não identificado.	Apresenta uma revisão de diferentes formas gráficas: PCDS com família de "curvas de risco", PCDS com caixas de incerteza, diagrama de bolhas, PCDS com intervalos de predição e avaliações de "força-de-evidência". Define duas novas formas de representar incertezas: PCDS com plotagem de diagrama de caixa e avaliações de "força-de-evidência" (PCDS-USEA) e PCDS com intervalos de incerteza, avaliações de "força-de-evidência" e avaliações de risco de desvio de premissas.	Não identificado.

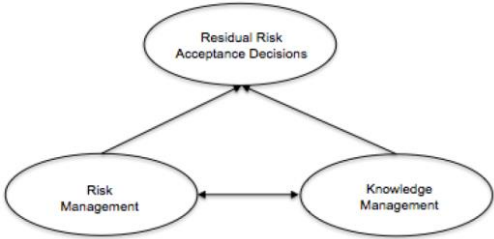
continua

Tabela 1.1 – Continuação.

Referência	Fundamentos e conceituação de risco	Psicologia e Ciências sociais (tomadas de decisão)	Aspectos de maturidade (contexto)	Ferramentas e abordagens	Outros aspectos
Goerlandt e Montewka (2015b)	<p>Faz referência aos fundamentos da análise de risco e a existência de diferentes definições adotadas na literatura. Parte de uma perspectiva de risco baseada em incertezas.</p> <p>Os autores utilizam a seguinte definição (qualitativa) de risco: <i>“Risk is uncertainty about and severity of the consequences of an activity with respect to something that humans value”</i>.</p> <p>A caracterização de risco utilizada pelos autores, segue uma construção conceitual, desenvolvida ao longo do trabalho, conforme abaixo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Risk ~ (A, C, U BK) 2. Risk ~ (A, C, Ps, EU BK) 3. Risk ~ (A, C, Ps, EU, S BK) 4. Risk ~ (A, C, Ps, EU, EB, S EJ, NEJ) <p>Onde: A = eventos, C = consequências, U = incertezas, BK = conhecimento subjacente, Ps = probabilidade subjetiva, EU = incerteza das evidências, S = sensibilidade relacionada a mudanças nas medidas do risco calculadas condicional a mudanças em quantidades de incerteza, EB = viés das evidências, EJ = justificativa de natureza epistêmica, NEJ = justificativa de natureza não-epistêmica.</p>	<p>Trata o assunto parcialmente através de análise qualitativa do avaliador do risco quanto ao viés de evidências em três níveis (conservativo, realista e otimista) nas dimensões de completude de dados, simplificações de modelos e julgamento de premissas.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Apresenta a avaliação da força de suporte de evidência (conhecido em outros trabalhos como SoK), utilizando os critérios estabelecidos em Flage e Aven (2009), nas seguintes classificações: incerteza significativa, incerteza moderada e incerteza menor.</p>	<p>O objetivo do artigo é apresentar uma versão expandida da caracterização de risco para expressar e comunicar incertezas relacionadas a QRA (<i>Quantitative Risk Assessment</i>).</p>

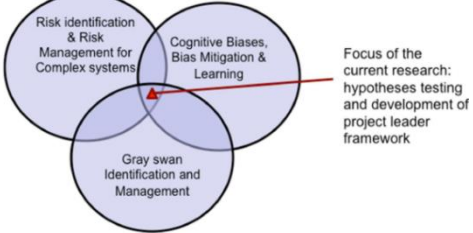
continua

Tabela 1.1 – Continuação.

Referência	Fundamentos e conceituação de risco	Psicologia e Ciências sociais (tomadas de decisão)	Aspectos de maturidade (contexto)	Ferramentas e abordagens	Outros aspectos
Lengyel (2018)	<p>A pesquisa examina criticamente as relações entre gerenciamento de risco, tomada de decisão e gerenciamento de conhecimento em uma abordagem integrada. O modelo integrado proposto foi construído com base em dados coletados de estudos de casos, e projetos da NASA, além de informações obtidas de entrevistas com gerentes de Programas da NASA. Provê uma visão geral de uma abordagem (denominada IRKDM) para aumentar as chances de sucessos em missões e evitando acidentes ou falhas.</p> 	<p>Utiliza a abordagem de tomadas de decisão informadas ao risco (RIDM) e adiciona um elemento de conhecimento (<i>risk and knowledge -informed</i>) para tomadas de decisão.</p> <p>Aborda os conceitos do programa de heurísticas e vieses (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974).</p> <p>Integra elementos de preferência ao risco (<i>Risk Preference: risk seeking, risk neutral, risk averse</i>).</p>	Não identificado.	<p>Propõe o modelo de tomadas de decisão: <i>Integrated Approach to Risk Management, Knowledge Management and Decision Making - IRKDM</i></p> <p>Desenvolve um checklist direcionado a gerentes de projetos e programas para melhorar as competências em decisões de aceitação de riscos residuais (i.e. riscos remanescentes após esforços de controle e mitigação).</p> <p>Faz referência aos métodos: CRM e matriz de riscos (abordagem NASA); <i>Multi-Attribute Preference Model</i> (MAPM / NASA); Teoria da Decisão (<i>Multi-Attribute Utility Theory</i> (MAUT); AHP, CPT);</p>	Não identificado.

continua

Tabela 1.1 – Continuação.

<p>Emmons (2017)</p>	<p>O trabalho não explora os fundamentos da disciplina Análise de Riscos, mas faz uma pequena apresentação de diferentes tipos de conceitos adotados na literatura. Especificamente para o trabalho, a seguinte definição do termo risco é adotada:</p> <p><i>“Risk is the combination (or product) of the probability or likelihood (qualitative or quantitative) that a program or project will encounter a negative event (cost increase, delay in schedule, safety accident, security breach) and the consequences (impact) of the negative event, were it to happen (NASA, 2007).”</i></p> 	<p>Aborda diretamente a questão dos vieses cognitivos mais persistentes em projetos da área espacial e propõe como solução de mitigação a utilização de um checklist (<i>The Risk Identification and Evaluation Bias Reduction Checklist</i>) que induz ao respondente reflexões importantes para evitar que a análise de riscos contenha vieses.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Utiliza dados de projetos já finalizados da NASA, portanto, que seguem a filosofia do tripé de risco (<i>risk triplet</i> (KAPLAN; GARRICK, 1981)) e matriz de risco como ferramenta principal de comunicação.</p> <p>Aborda o processo CRM da NASA e o processo de gerenciamento de riscos do DoD.</p>	<p>Não identificado.</p>
----------------------	---	---	--------------------------	--	--------------------------

continua

Tabela 1.1 – Conclusão.

<p>Esta Tese</p>	<p>Apresenta um histórico (extrato) sobre as origens do conceito risco e suas interpretações filosóficas, sua ramificação e evolução em diferentes áreas do conhecimento e a evolução da disciplina como uma área própria de conhecimento (científica).</p> <p>Desenvolve um novo conceito integrativo, denominado maturidade de riscos individuais (iRM) e sua forma de expressão, denominada nível de maturidade de riscos individuais (iRML).</p> <p>Utiliza fundamentos teóricos e abordagens (i.e., integrativas, semi-quantitativa, tese dual de risco) para definir um método conceitualmente estruturado de avaliação da maturidade de riscos e incertezas com aplicação na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.</p> <p>Desenvolve um modelo conceitual que integra os aspectos de conhecimento, comportamento e percepção de risco, maturidade tecnológica e do projeto, e maturidade da organização ao risco.</p>	<p>Desenvolve um modelo integrado para representar os aspectos de avaliação subjetiva de riscos (percepção, comportamento, arquitetura cognitiva e influências do contexto sociocultural).</p> <p>Utiliza aspectos-chaves desse modelo com os propósitos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - identificar como os riscos são identificados por indivíduos (especialistas); - comunicar potenciais modificadores da descrição e caracterização de riscos aos stakeholders (possibilidade de existência de vieses, comportamento ao risco). 	<p>Desenvolve modelos próprios considerando diferentes aspectos de maturidade: prontidão tecnológica (TRL), do conceito de missão (projeto) em desenvolvimento (CML), da capacidade da organização em gerenciamento de riscos (CoPS-RM-CMM) para representar elementos importantes do contexto da análise dos riscos e incertezas identificados.</p>	<p><i>iRML híbrido:</i> Desenvolve um método multi-elementos (métrica composta) baseado em um modelo de agregação aditivo (MAVT) configurável às necessidades de tomadas de decisão (flexibilidade de métodos DIRECT, SMARTER/ROC e pesos de importância); Desenvolve uma ferramenta Excel para avaliação da maturidade de riscos (configuração iRML, captura de dados e automatização das rotinas) adaptada ao processo CPRIME; Cria um modelo de ponderação aditiva para identificar a possibilidade de existência de vieses (IPE_{vies}) mais importantes (análise de seleção), com pesos definidos através de relacionamentos lógicos (inferência); Utiliza um método de questionário direto com base em autodeclaração de propensão ao risco (<i>likert scale</i>) para determinar o comportamento ao risco; Desenvolve uma interface gráfica (dois gráficos em barras e um diagrama indicador de escala) para comunicação da maturidade de riscos.</p> <p><i>iRML descritivo:</i> Desenvolve duas diferentes abordagens descritivas para classificar a maturidade de riscos (escala) e individualmente dos aspectos de maturidade de um risco (estratificado).</p>	<p>Realiza estudo de caso com aplicação em ambiente real do método proposto e discute a utilidade, consistência e aplicabilidade.</p> <p>Compara o método desenvolvido com outros métodos da literatura.</p> <p>Discute questões de aplicabilidade e limitações do método.</p>
------------------	--	---	--	--	--

Fonte: Produção do autor.

1.5 Resumo estendido

Este trabalho apresenta um método de identificação, avaliação e comunicação da maturidade de riscos para suportar tomadas de decisão, seguindo a abordagem de decisão informada ao risco (*risk-informed decision making – RIDM*), de forma a prover informações sobre os fundamentos que sustentam os riscos e incertezas identificados e julgados em um contexto de análise de riscos.

O método desenvolvido inclui a definição de um novo conceito integrativo de maturidade de riscos, denominado iRM (*individual Risk Maturity*), fundamentado na tese dual de risco (*the dual risk thesis* (HANSSON, 2010)), composto por quatro elementos principais que representam os aspectos de maturidade do risco em si e do seu contexto. São eles: (i) aspectos de conhecimento subjacente ao risco, (ii) aspectos de maturidade do contexto tecnológico e do projeto, (iii) aspectos da psicologia e socioculturais de tomadas de decisão, e (iv) aspectos organizacionais (contexto) formam o conceito de maturidade construído.

A forma de expressão do conceito iRM foi desenvolvida para o contexto aplicado através de duas formas distintas. A primeira, denominada iRML híbrido, é uma construção multidimensional que utiliza um modelo hierárquico não uniforme, constituído dos atributos mais relevantes para formação da maturidade de um risco no contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

A expressão do iRML híbrido utiliza multi elementos em uma forma gráfica que facilita a rápida comunicação dos aspectos de maturidade de um risco. Um indicador numérico semiquantitativo, denominado índice principal do iRML híbrido, integra as dimensões quantificáveis (semiquantitativas) de três aspectos de maturidade do iRM (RKM, TM&MCM e ROM). O índice principal do iRML híbrido é obtido através de um modelo aditivo de agregação dos valores de maturidade dos atributos do modelo hierárquico, conforme julgados pelo avaliador do risco, e balanceados por um sistema de pesos adaptáveis (*Multi-Attribute Value Theory*). O aspecto de maturidade remanescente - (iv) influências da psicologia e socioculturais -, por sua vez, é segmentado em duas outras representações. Uma delas, a representação indireta da percepção de risco, utiliza um modelo gráfico em barras, onde cada barra representa o valor

numérico (semiquantitativo) da possibilidade de existência de um viés específico. A outra representação consiste em um ponteiro indicador sobre um eixo, delimitado por estados de comportamento ao risco.

A segunda forma de expressão do conceito iRM, denominada de iRML descritivo possui duas abordagens distintas. A primeira, denominada de iRML em escala, utiliza como inspiração os modelos de maturidade de capacidades e outros conceitos representados em escala (*FOMs / soft metrics*), para o desenvolvimento descritivo do iRML em cinco níveis de maturidade de riscos. Essa abordagem é uma forma alternativa ao iRML híbrido para contextos que demandem um rápido e intuitivo julgamento sobre a maturidade de um risco, mas aceitando a perda de resolução e detalhamento quanto as informações de maturidade de um risco.

A segunda abordagem de iRML descritivo, denominada de estratificada, avalia os riscos a partir dos aspectos de maturidade do iRM individualmente, sem integrá-los e também classificado em cinco níveis de maturidade, com referência a um padrão descritivo estabelecido. O resultado dessa avaliação gera quatro níveis independentes de maturidade e evita o julgamento integrado do iRML, provendo maior detalhamento quando comparado à abordagem em escala e minimizando conflitos de julgamento não convergentes.

Também foram desenvolvidos os processos adaptados à utilização do iRM em diferentes níveis de detalhamento (geral e detalhado) e específico para o ambiente CPRIME, que foram apenas parcialmente exercitados no estudo de caso.

A validação empírica conta com um estudo de caso utilizando as abordagens e os dados de análise de risco gerados em um estudo conceitual de missão espacial realizado no CPRIME. O estudo de caso em retrospectiva contou com a participação dos especialistas do time de projeto, que participaram do Estudo Conceitual à época, para uma entrevista com a avaliação da maturidade dos riscos utilizando as duas abordagens propostas e posterior aplicação de um questionário para coleta das impressões e outras informações. Os resultados obtidos são utilizados para as discussões e conclusões da pesquisa.

1.6 Estrutura da Tese

Esta Tese está estruturada em onze capítulos organizados seguindo as diretrizes padronizadas de apresentação de uma pesquisa científica (INPE, 2019). Os capítulos apresentam as informações essenciais para o entendimento do desenvolvimento, resultados e conclusões, enquanto materiais auxiliares ou complementares são apresentados na forma de apêndices e anexos. O mapa mental da estrutura da Tese é apresentado na Figura 1.1.

O Capítulo 2 apresenta a formulação da pesquisa e o método utilizado, considerando a natureza da pesquisa realizada e os passos seguidos para desenvolvimento dos artefatos criados e resultados obtidos.

O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica e conceitos básicos dos elementos centrais da pesquisa incluindo uma breve descrição sobre o histórico, desencadeamentos teóricos e filosóficos sobre a área riscos. Este capítulo também apresenta os conceitos, terminologias e entendimentos conceituais (*conceptualizations*), o relacionamento entre esses elementos e a fundamentação sobre o tratamento de risco e incertezas considerando os desafios acadêmicos atuais.

O Capítulo 4 apresenta a teoria sobre processos, estratégias e modelos de análise de riscos e abordagens de tomadas de decisão, como esses estão relacionados para diferentes necessidades e contextos, e a importância do tratamento de riscos para as organizações.

O Capítulo 5 apresenta o arcabouço teórico e bibliográfico sobre a influência da psicologia e ciências sociais na disciplina Análise de Riscos e tomadas de decisão de interesse para a pesquisa.

O Capítulo 6 apresenta a revisão bibliográfica do tratamento de riscos no desenvolvimento de sistemas espaciais, mostrando como as organizações de referência no setor espacial, incluindo o contexto do INPE, e trabalhos da literatura tem abordado ou propostos soluções para o tratamento de riscos e incertezas na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

O Capítulo 7 inicia a apresentação dos desenvolvimentos realizados na pesquisa, introduzindo o método, o conceito iRM e a forma de expressão iRML, o suporte teórico e uma estrutura de processos genérica para nortear a utilização do método.

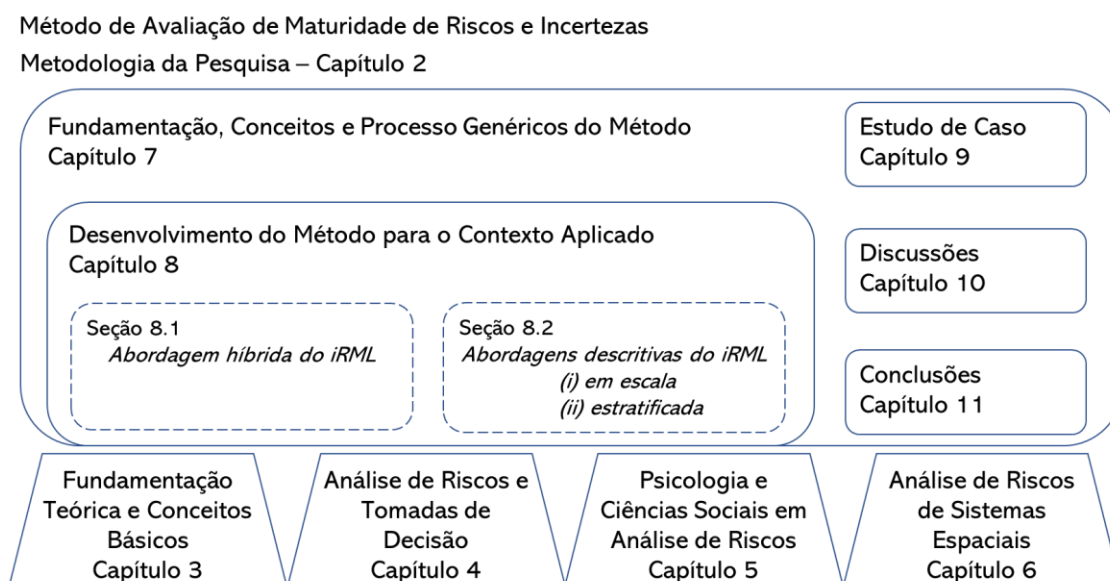
O Capítulo 8 apresenta em detalhes o desenvolvimento teórico, conceitual e os modelos construídos que formam o conceito iRM e sua forma de expressão iRML em duas formas distintas (híbrido e descritivas).

O Capítulo 9 apresenta a aplicação prática do conceito iRM e as formas de avaliação do iRML em estudo de caso, contando com os dados de um estudo conceitual do CPRIME e os especialistas envolvidos na avaliação de riscos. O capítulo também apresenta a análise dos resultados obtidos no estudo de caso e as conclusões obtidas.

O Capítulo 10 discute a utilidade do método, comparação entre as abordagens de iRML e compara o método desenvolvido com outras propostas encontradas na literatura.

O Capítulo 11 apresenta as conclusões do trabalho, reavaliando os objetivos propostos, originalidade, generalidade e aplicabilidade da pesquisa.

Figura 1.1 – Mapa mental da estruturação da Tese.



Fonte: Produção do autor.

2 FORMULAÇÃO DA PESQUISA E METODOLOGIA

A natureza da pesquisa realizada é conceitual e teórica no sentido de produzir conhecimento genérico para a área de Análise de Riscos. Ao mesmo tempo, um método (artefato) e os meios que possibilitam a sua realização prática foram desenvolvidos e validados empiricamente através de estudo de caso no contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

Os princípios e método de pesquisa utilizados neste trabalho estão fundamentados na pesquisa em *Design Science (Design Science Research - DSR)* (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015)) para garantir rigor científico apropriado em sua realização. A pesquisa em *Design Science*, fundamentada no conceito de ciências do artificial (i.e., algo produzido ou inventado pelo homem (SIMON, 1996)), se ocupa com a concepção de artefatos que tenham propriedades desejadas e realizem objetivos definidos ou solução de problemas específicos, portanto, gerando conhecimento prescritivo (LACERDA et al., 2013).

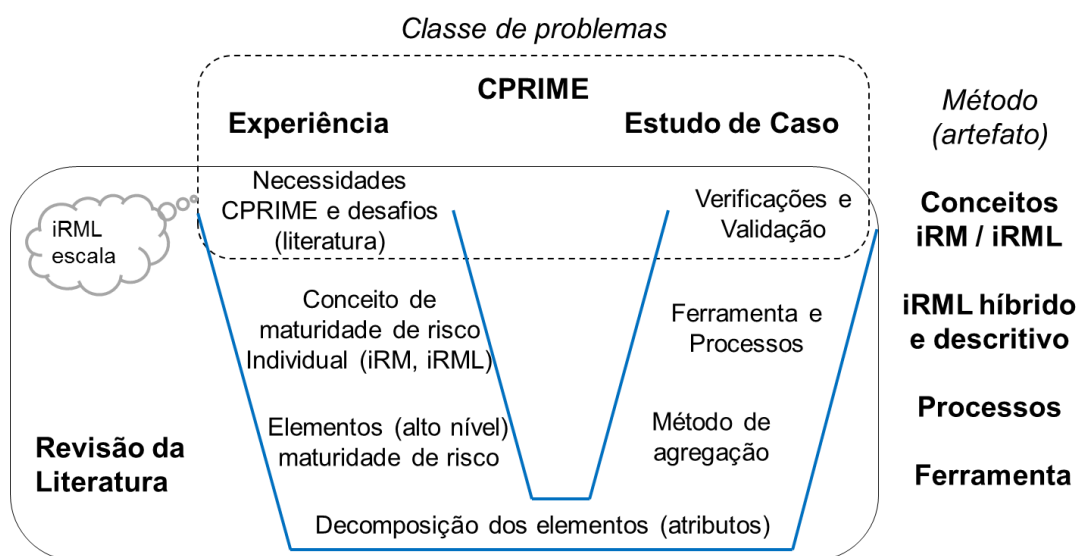
Para permitir a generalização do conhecimento gerado na pesquisa e a definição do objeto que será tratado pelo artefato desenvolvido, a classe de problemas é definida como o provimento do nível e elementos de informação apropriados da análise de riscos para prover suporte em RIDM em situações de grande incerteza.

A Figura 2.1 ilustra a metodologia utilizada na pesquisa apresentada nesta Tese, baseado no modelo DSRM (*Design Science Research Methodology*) sugerido por Peffers et al. (2007). O DSRM compõe os elementos-chave encontrados em pesquisas de *Design Science* em um processo passível de iterações das atividades de identificar o problema e motivação; definir objetivos da solução, projetar e desenvolver, demonstrar, avaliar e comunicar.

Extensa e contínua revisão da literatura foi realizada ao longo do desenvolvimento da pesquisa utilizando diferentes técnicas como a rastreabilidade de citações (*citation tracking, snowballing* (WOHLIN et al., 2022)), busca em periódicos especializados e busca em bases de dados (*string search* (WOHLIN, 2014)) - *Scopus, Web of Science, Periódicos Capes, Google scholar*. Esta Tese conta com 408 citações de artigos, filtrados de um volume maior de

trabalhos encontrados na literatura. Em um primeiro momento, a exploração da literatura buscou os conceitos fundamentais da disciplina Análise de Riscos, seu histórico, principais autores e contribuições. Esta revisão inicial possibilitou conhecer os desafios atuais e situar a ideia inicial da pesquisa no cenário amplo da área de conhecimento de análise de risco. Com o arcabouço conceitual primário construído, buscas bibliográficas foram realizadas sobre os mais recentes desenvolvimentos (estado-da-arte) em pesquisas relacionadas aos temas específicos do trabalho.

Figura 2.1 – Metodologia de pesquisa utilizada nesta Tese.



Fonte: Produção do autor.

Através das necessidades do CPRIME, identificadas com a experiência, observação e relatos de participantes, e dos desafios encontrados na literatura, uma nova proposta de método para auxiliar a análise de riscos foi construída com o propósito de suportar os processos subsequentes de RIDM, em contextos de grande incerteza.

Para o desenvolvimento de um método conceitualmente sólido foram formulados um novo conceito, um modelo integrativo conceitualmente representativo e diferentes formas de avaliação e representação da maturidade de riscos. Segundo Aven (2016c) e Aven (2018d), estratégias de pensamento integrativo (*integrative thinking* (MARTIN, 2009)) tem a habilidade de utilizar construtivamente a tensão entre ideias opostas, ao invés de escolher uma em

detrimento de outra. O resultado gera uma solução criativa para formar uma nova ideia que contém elementos de ambas as ideias, mas superior a cada uma individualmente.

O desenvolvimento do método de maturidade de riscos seguiu uma estratégia inspirada no modelo em *vê* (*V-model*), tipicamente adotada na disciplina Engenharia de Sistemas para estruturar os processos do ciclo de vida de sistemas espaciais (NASA, 2016a) e originalmente criado no contexto de engenharia de software (GRÄSSLER et al., 2021).

Nesta estratégia, utilizando a abordagem inicial *top-down* (i.e., *partitioning*) foram definidos os elementos de maior importância a serem considerados na composição da maturidade de um risco (nível macro). A partir dessa linha de base, subelementos foram sucessivamente decompostos até o nível de detalhamento mais baixo, definidos pela relevância dos aspectos para o contexto pretendido e suportado por argumentações obtidas da base referencial e da literatura. Na abordagem *bottom-up* (i.e., *integration*) subsequente, um método de agregação da teoria de decisão multiatributos foi selecionado para integrar os elementos de maior granularidade propostos e possíveis de integração, resultando em uma forma de expressão do conceito de maturidade de riscos de forma integrada. O desenvolvimento do modelo conta com extensivo uso de referências da literatura combinadas com discussões e análises próprias com a criação de novas soluções ou adequadas ao propósito desejado.

O processo para a avaliação da maturidade de riscos genérico e específico (i.e., para o ambiente CPRIME) foram desenvolvidos. Adicionalmente, uma ferramenta para auxiliar na avaliação da maturidade de riscos (i.e., configuração, coleta de dados e automatização de rotinas) foi desenvolvida e adaptada para o ambiente CPRIME.

Ao construir o modelo (*framework*) e o conceito de maturidade de riscos partindo do alto nível de abstração, a generalidade e aplicabilidade em outros contextos do método permitiu a construção de uma escala em níveis de maturidade de riscos, utilizando uma forma de expressão da maturidade descritiva, que

configura uma segunda forma de avaliação da maturidade de riscos através desse modelo em escala (similar ao TRL e outras figuras de méritos).

A característica experimental e prática da pesquisa está voltada para a aplicação do método proposto utilizando os dados de um estudo de caso de análise conceitual de uma missão realizada no CPRIME. A validação (*pragmatic validity* (VAN AKEN; CHANDRASEKARAN; HALMAN, 2016)) do método proposto se dá através de entrevistas com avaliadores dos riscos (i.e., especialistas de disciplinas específicas envolvidos no estudo que identificaram e avaliaram riscos) e demandante do estudo com avaliação dos critérios de utilidade, eficácia e consistência do método proposto, além do julgamento comparativo entre os modelos diferentes de avaliação. Os resultados obtidos foram analiticamente e qualitativamente analisados e são utilizados para suportar as conclusões da pesquisa.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONCEITOS BÁSICOS

A disciplina Análise de Riscos é um assunto explorado por diversas áreas científicas e constantemente debatido no meio acadêmico, o que pode ser evidenciado pelo crescente número de organizações de pesquisa, periódicos, conferências e instituições de ensino abordando o assunto (AVEN; FLAGE, 2020). Entretanto, o seu estabelecimento como uma disciplina específica ainda não é amplamente reconhecido apesar dos constantes esforços de diversos pesquisadores e organizações como o *Society for Risk Analysis* (SRA) na formação de um arcabouço conceitual (SRA, 2018a) e pilares fundamentais da disciplina (SRA, 2018c).

Além da diversidade de áreas científicas que desenvolveram seus próprios entendimentos e fundamentações conceituais, como a matemática, ciências naturais, psicologia, economia, sociologia e filosofia, existem vastas discussões sobre o reconhecimento da área de Análise de Riscos como um ramo científico próprio (CUMMING, 1981; HANSSON; AVEN, 2014). Consequentemente, as definições fundamentais da disciplina são discutidas em nível filosófico (*Philosophy of Risk*), envolvendo questões de epistemologia (conhecimento/falta de conhecimento e sua definição), teoria da decisão (abordagens normativas, descritivas ou prescritivas), filosofia da probabilidade (interpretações de probabilidade) e filosofia da ciência (movimentos filosóficos, e.g., construtivismo vs realismo, formas de raciocínio lógico) (HANSSON, 1999, 2012; GOERLANDT; MONTEWKA, 2015a).

3.1 Histórico e fundamentos do risco

A noção do conceito de risco possui um longo histórico (AVEN, 2016c) e é um dos temas em que a humanidade busca constantemente respostas mais definitivas para o seu tratamento (BERNSTEIN, 1998). A história mostra que o conceito de risco pode ser considerado atemporal e foi aplicado na prática antes mesmo do conceito tornar-se definido linguisticamente e matematicamente (ALTHAUS, 2005).

As perspectivas históricas de Covello e Mumpower (1985) e Trimpop (1994), consideram a existência da noção do conceito risco entre os humanos desde 3200AC na civilização da Mesopotâmia, nas práticas realizadas por um grupo chamado *Asipu*, reconhecidos por identificar ações alternativas e suas consequências através de interpretações de sinais dos Deuses. Segundo Althaus (2005), registros iniciais do conceito de risco também podem ser encontrados no *Código de Hammurabi*, em práticas primitivas de seguros e problemas de desastres naturais do século V a.C. na China e nas civilizações Grega e Romana.

Ao longo da história, a transformação fundamental da crença humana em dominar ou controlar os riscos e incertezas com o uso de conceitos matemáticos, por exemplo, com o uso dos conceitos de probabilidade e utilidade esperada, marca a mudança da tradição antiga baseada na fé e no controle Divino para uma perspectiva de escolha e responsabilização sobre suas consequências (BERNSTEIN, 1998). Com a evolução do conhecimento, a introdução do fator humano (e.g., racionalidade limitada, arquitetura cognitiva e interações sociais) e o reconhecimento das limitações de abordagens puramente analíticas na previsão do futuro de alternativas de decisão, muitas contribuições foram realizadas sobre o assunto nas mais diversas áreas do conhecimento.

A habilidade de definir o que pode acontecer no futuro, avaliar riscos e incertezas, e tomar decisões entre as alternativas consiste no objetivo principal do gerenciamento de risco. O desafio principal é saber como descrever, mensurar e comunicar riscos e incertezas e não há uma resposta definitiva para tal (AVEN, 2012a). Segundo Aven e Flage (2020), a disciplina Análise de Riscos, como uma área própria do conhecimento tem sido gradualmente reconhecida pela comunidade científica, o que tem impulsionado o número de pesquisas e organizações na exploração do assunto.

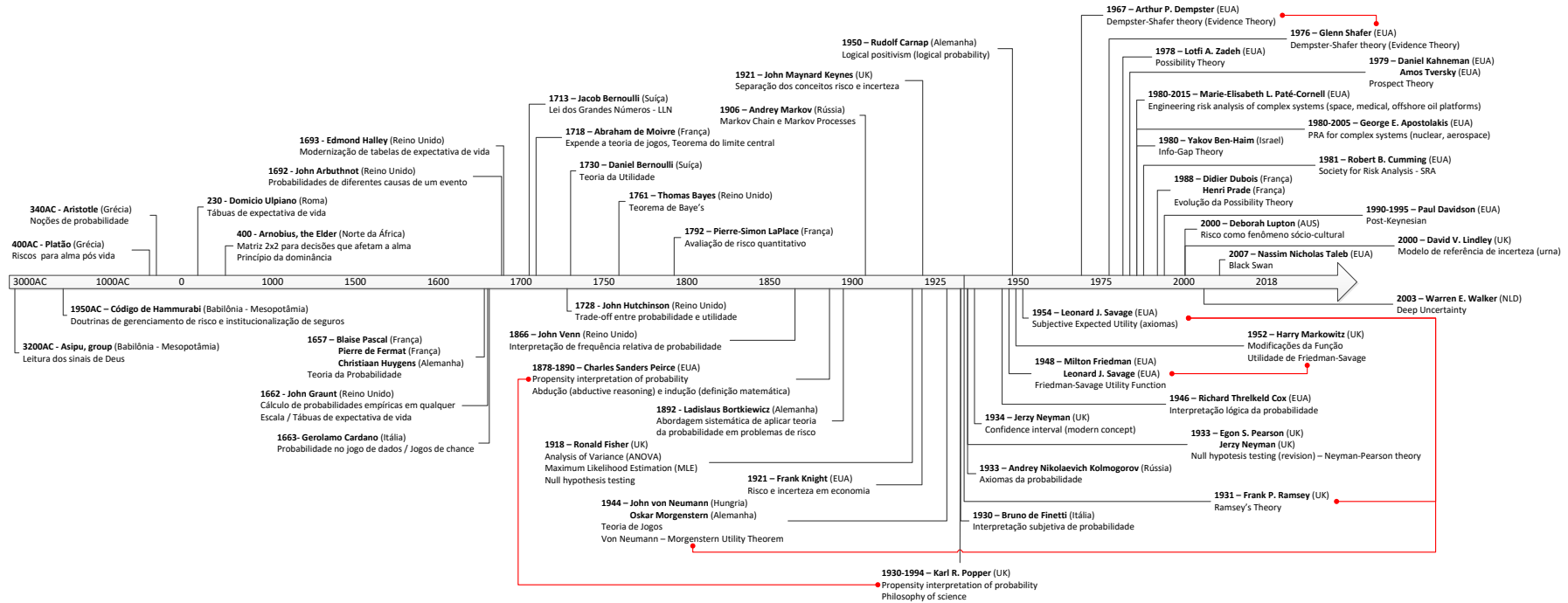
A questão científica da disciplina Análise de Riscos está relacionada à utilização de fatos e valores (dicotomia) em seus processos e o interesse no estabelecimento de seus fundamentos (HANSSON, 2010). O questionamento sobre o uso de valores na avaliação de riscos e as discussões sobre a separação

da parte objetiva deste processo são parte das discussões na literatura que levam ao questionamento da disciplina Análise de Riscos quanto a uma área científica própria e os impactos deste entendimento para a visão externa da disciplina, como por exemplo, o papel do risco na formulação de políticas públicas e políticas institucionais.

Segundo Macgillivray (2019), no centro do debate sobre ciências e valores, está a ideia de que a evidência disponível em qualquer determinado momento é insuficiente para corrigir as crenças que um indivíduo tem. Os defensores do ideal livre de valores (*value-free*) argumentam que os princípios de raciocínio indutivo, em conjunto com evidência empírica são suficientes para corrigir crenças relacionadas a hipóteses sem qualquer necessidade de intrusão de valores não epistêmicos (*nonepistemic values*), como valores normativos sociais ou éticos. Entretanto, não há consenso na importância relativa de valores epistêmicos, nem mesmo como eles deveriam ser interpretados ou mesmo quais valores podem ser propriamente considerados epistêmicos. Isso mostra que há um inevitável elemento de julgamento na aplicação de valores epistêmicos, ao invés de necessariamente deteriorar o padrão de objetividade.

Portanto, ao longo da história, muitas foram as contribuições geradas direta ou indiretamente sobre o assunto, realizadas por atores de diferentes áreas de conhecimento em uma constante modificação do entendimento fundamental de risco. A Figura 3.1 apresenta uma linha do tempo com os autores julgados mais importantes da área de Análise de Riscos e as suas contribuições principais, como resultado da exploração bibliográfica dos conceitos fundamentais desta disciplina. O Apêndice A apresenta uma descrição simplificada das contribuições dos principais atores da linha do tempo. Ao longo da Tese, diversos autores citados na linha do tempo são referenciados e as suas contribuições são utilizadas para formação dos resultados desse trabalho de pesquisa.

Figura 3.1 - Linha do tempo das contribuições e evolução da área de análise de riscos.



Fonte: Produção do autor.

3.2 Terminologias e conceitos

A falta de consenso em terminologias, princípios básicos, e diferentes perspectivas de risco adotadas nas mais diversas áreas de conhecimento estão entre as principais causas da dificuldade de criação de conceitos fundamentais e universais da disciplina Análise de Riscos (AVEN; FLAGE, 2020). Aven (2016c) e SRA (2018a) afirmam que diversas tentativas foram realizadas no sentido de estabelecer definições globalmente aceitáveis de termos e conceitos fundamentais da disciplina Análise de Riscos, entretanto, a experiência tem mostrado que a concordância em um conjunto de definições não é realista.

Aven (2017a) destaca a importância de distinguir claramente entre o conceito risco e como este conceito é medido, descrito ou caracterizado, diretriz que é aplicável aos demais conceitos abordados a seguir e utilizada neste trabalho para os conceitos desenvolvidos.

Este trabalho apresenta um método complementar à análise de riscos de uma organização ou contexto de aplicação, portanto, não limita ou define conceitos especificamente aplicáveis quanto aos termos apresentados nesta seção. Os conceitos necessários e que dão base ao método desenvolvido, são apresentados no Capítulo 7.

3.2.1 Risco

A etimologia da palavra risco é divergente na literatura, portanto considerada inconclusiva (AVEN, 2012b; OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2018). Similarmente, o entendimento conceitual de risco, por sua própria semântica, é aberto a uma variedade de possibilidades e interpretações. Segundo Althaus (2005), risco é identificado como um fenômeno maleável e sensível, por isso, suas muitas faces e multiplicidade de origens atestam o seu caráter elusivo como um fenômeno conceitual.

Algumas definições são baseadas em probabilidade, chance ou valores esperados (*expected values*), enquanto outras em eventos indesejados, perigos, ou em incertezas. Enquanto fundamentalmente, algumas definições consideram

risco como subjetivo ou epistêmico (dependente do conhecimento), outras concedem ao risco o status ontológico (AVEN; RENN; ROSA, 2011), independente dos seus assessores (i.e., do indivíduo que analisa o risco) (AVEN, 2012b).

Portanto, existe uma distinção específica entre risco definido como uma realidade que existe em seu próprio direito no mundo e risco definido como uma realidade em virtude de um julgamento feito por uma pessoa ou a aplicação de algum conhecimento para incerteza. Enquanto o primeiro considera as propriedades metafísicas do risco, o segundo é o que pode ser denominado abordagem epistemológica do risco (ALTHAUS, 2005).

A clareza na definição e no significado do conceito (conceitualização) de risco são importantes, não somente para a questão linguística, mas para comunicação entre diferentes áreas de conhecimento. Portanto, mesmo que diferentes métodos de avaliação e gerenciamento de risco sejam utilizados por diferentes áreas do conhecimento, conforme as necessidades particulares, a definição de conceitos e suas formas de entendimento poderiam ter uma base fundamental singular (AVEN, 2012b).

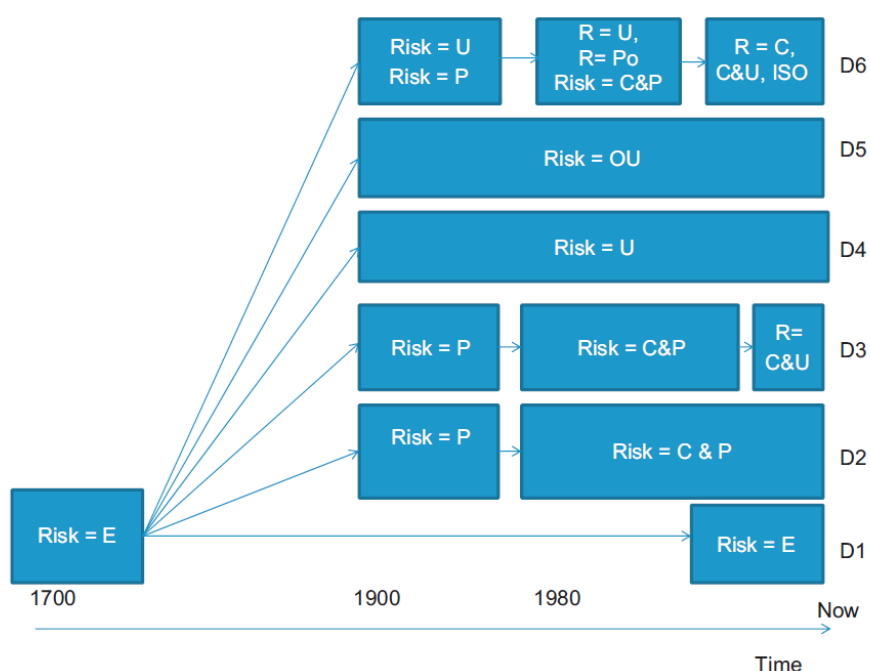
Em aplicações de engenharia o conceito de risco é comumente interpretado como uma propriedade física a ser identificada e estimada na análise de risco, enquanto no mundo dos negócios e no gerenciamento de projetos, risco é visto como uma medida subjetiva de incerteza (AVEN, 2012a). A psicologia e ciências sociais definem risco como um resultado de uma construção da mente humana, influenciado por múltiplos fatores como personalidade, emoções e relações sociais (SLOVIC, 2010b).

Em muitos casos, as organizações adotam definições e interpretações particulares de risco alheio às questões filosóficas (HANSSON, 2012) e perspectivas de outras áreas do conhecimento (BORGONOVO et al., 2018), apenas seguindo as abordagens normativas aplicadas na área (AVEN; YLÖNEN, 2019). Consequentemente, a utilização de conceitos inconsistentes em situações adversas ou fracamente justificados gera dificuldade na argumentação dos resultados e práticas de análise de risco (AVEN, 2012b), além

de limitação para sinergia e troca de conhecimentos entre diferentes áreas do conhecimento (BORGONOVO et al., 2018).

Rohrmann (2008) sugere que a conceitualização do risco deveria ser multidisciplinar ao conectar a compreensão de diferentes domínios, como engenharia, ciências sociais, economia e psicologia de forma a criar caracterizações adequadas e válidas.

Figura 3.2 - Caminhos evolutivos do conceito risco adotados por diferentes áreas do conhecimento ao longo do tempo.



Risco = E: Risco igual a valor esperado (*expected value*), perda esperada (*expected loss*) ou utilidade esperada (*expected utility*); Risco = P: Risco igual a probabilidade de um evento (indesejado); Risco = OU: Risco igual a incerteza objetiva; Risco = U: Risco igual a incerteza; Risco = Po: Risco igual a potencial ou possibilidade de uma perda; Risco = C&P: Risco igual a probabilidade e consequências ou cenário/severidade de consequências; Risco = C: Risco igual a evento ou consequência; Risco = C&U: Risco igual a consequências / danos / severidades e incerteza; Risco = ISO: Risco igual ao efeito da incerteza nos objetivos.

D1: Análise de decisão, economistas; D2: Engenharia, saúde; D3: Ciências com base em engenharia; D4: Negócios, empresarial; D5: Economia, investimentos; D6: Disciplina análise de riscos.

Fonte: Aven (2012b).

Com o objetivo de organizar a diversidade de definições existentes, Aven (2012b) apresenta um sistema de classificação para as definições de risco em nove categorias, utilizando como base a formação conceitual das diferentes definições, conforme apresentado na Tabela 3.1. Uma linha do tempo (Figura

3.2) é proposta pelo autor para apresentar os caminhos evolutivos do conceito risco em diferentes áreas do conhecimento, inclusive da própria área de Análise de Riscos (D6), reconhecida por defender de uma visão holística de definições.

Nota-se que algumas disciplinas referenciados no trabalho de Aven (2012b) mantêm a mesma categorização conceitual por muitas décadas, mesmo que diversos argumentos contra suas utilizações tenham sido recorrentemente discutidos na literatura (e.g., risco igual a valor esperado).

As definições qualitativas do conceito risco e respectivas formas de expressão (i.e., medida, descrição ou caracterização) adotados por organizações de referência e de interesse no tema desta Tese são apresentadas na Tabela 3.2. Nota-se a diversidade de definições qualitativas e formas de expressão com relação à categorização de conceitos, conforme constatado por Aven (2012b). Isso confirma a conclusão de que não há uniformidade nas definições, mesmo em organizações que desenvolvem a mesma natureza de atividade.

Por exemplo, a NASA define risco como o potencial para insuficiência no atingimento de requisitos de desempenho, ou seja, o potencial de perda, representado pela notação $Risco = Po$. Enquanto a ESA (ECSS), define risco como uma situação ou circunstância indesejada, ou seja, eventos indesejados, representado pela notação $Risco = C$.

Nenhuma das definições do termo risco pode ser vista como a definição absoluta, pois a adequação das formas de expressão e definições do conceito dependem da situação e podem ser questionáveis. Por exemplo, Aven (2011) faz uma revisão crítica das definições adotadas pela ISO quanto a falta de clareza na definição do conceito e a flexibilidade para diferentes interpretações. Svana et al. (2022) concluem que os padrões e orientações da ISO utilizam definições conceituais que não estão alinhados com a literatura científica da área risco. Portanto, a maneira que risco é entendido e descrito influencia fortemente o modo que o risco é analisado e conseqüentemente, gera sérias implicações para o gerenciamento de risco e tomada de decisão (AVEN, 2016).

Tabela 3.1 - Categorias de definições de risco.

Categoria	Descrição
(Risco = E) Risco igual a valor esperado (<i>expected value</i>), perda esperada (<i>expected loss</i>) ou utilidade esperada (<i>expected utility</i>)	Essas interpretações utilizam a integração entre severidade dos diferentes resultados e probabilidade de ocorrência resultando em um único elemento numérico. A simplicidade de utilizar somente um elemento para definição do risco é atrativa, mas existem muitos argumentos contra sua utilização como definição geral. Por exemplo, quando se trata de eventos com distribuições de probabilidade diferentes que resultam no mesmo valor esperado. A interpretação de utilidade esperada, diferentemente de valor esperado, considera um balanceamento de perdas dependente das preferências do assessor, característica da teoria da utilidade. Enquanto a interpretação de perda esperada é motivada pela Lei dos Grandes Números (SINGPURWALLA, 2006), que estabelece que a média de variáveis aleatórias obtidas de experimentos similares e independentes convergem para um valor esperado com determinado erro. Entretanto, adotar uma função utilidade apropriada não é algo trivial devido a diferentes julgamentos da importância de consequências (subjeto).
(Risco = P) Risco igual a probabilidade de um evento (indesejado)	Risco assume a interpretação de probabilidade de perda, onde a magnitude da consequência não é considerada e probabilidade pode ser baseada em frequência ou subjetiva (e.g., Bayesiana). Esta interpretação é muitas vezes inadequada, pois as estratégias para lidar com situações de diferentes níveis de impacto de consequência devem ser diferentes. As interpretações puramente probabilísticas são consideradas limitadas, pois não evidenciam o conhecimento e o embasamento de suporte do risco (e.g., premissas), o que pode impactar fortemente os resultados da sua análise e resultar em previsões de risco que não capturam as incertezas relacionadas. Além disso, o uso dessa interpretação gera dificuldade de implementação, pois o desenvolvimento de modelos probabilísticos representativos do fenômeno do risco normalmente possui problemas de estabilidade e similaridade.
(Risco = OU) Risco igual a incerteza objetiva	Esta abordagem tem origem com a teoria de Frank Knight (KNIGHT, 1921), onde risco somente é considerado em situações em que há uma distribuição objetiva de probabilidade, o que inclui raras situações ou nenhuma, se adotado probabilidade subjetiva ou Bayesiana.
(Risco = U) Risco igual a incerteza	Esta perspectiva permite a distinção clara entre o conceito qualitativo de risco e como ele é medido, onde incerteza é usualmente mensurada por variância. Tem como base a premissa que o valor esperado é o ponto de referência e este é conhecido ou fixado (a partir do qual, a variância é estimada). Incerteza vista isoladamente de consequências e severidades não pode ser utilizada como definição geral de risco, pois grande incerteza necessita atenção quando potenciais resultados são severos.
(Risco = Po) Risco igual a potencial ou possibilidade de uma perda	Este conceito mostra que uma perda pode ou não ocorrer, o que é próximo de dizer que existe incerteza sobre a perda. Uma interpretação alinhada com essa interpretação é o uso da teoria da possibilidade para medir incerteza.
(Risco = C&P) Risco igual a probabilidade e consequências ou cenário/severidade de consequências	Considera todo o espectro de consequências que poderiam ocorrer. Autores defendem que a representação de incertezas através de probabilidade neste caso é apropriada e suficiente. Esta interpretação tem como origem as definições apresentadas por (KAPLAN; GARRICK, 1981).
(Risco = C) Risco igual a evento ou consequência	Esta definição leva a dificuldades conceituais que são incompatíveis com o uso cotidiano de risco. Por considerar risco um evento, não é possível concluir se a consequência do risco é alta ou baixa ou comparar diferentes opções com relação ao risco.
(RC&U) Risco igual a consequências / danos / severidades e incerteza	Esta perspectiva facilita uma clara distinção entre o conceito risco e como este é medido. Probabilidade é considerada como uma ferramenta para descrever incertezas e não é parte do conceito risco.
(Risco = ISO) Risco igual ao efeito da incerteza nos objetivos	Trata-se da definição adotada pela ISO (<i>International Organization for Standardization</i>). Esta permite múltiplas interpretações por não ser suficientemente precisa, por exemplo, risco está relacionado com incerteza, mas é o efeito de incerteza? Se os objetivos não estão definidos, então não há risco? Assim, esta interpretação tem sido questionada quanto definição do termo risco.

Fonte: Adaptada de Aven (2012b) (tradução nossa).

Tabela 3.2 - Definições qualitativas e métricas do termo risco (*risk*) adotados em organizações de interesse.

Definições Qualitativas e Métricas
Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/ISO) (ABNT NBR, 2009; ISO, 2018)
Definição Qualitativa: Efeito da incerteza nos objetivos. Nota 1: Um efeito é um desvio em relação ao esperado – positivo e/ou negativo. Nota 2: Os objetivos podem ter diferentes aspectos (tais como metas financeiras, de saúde e segurança e ambientais) e podem aplicar-se em diferentes níveis (tais como estratégico, em toda a organização, de projeto, de produto e de processo). Nota 3: O risco é muitas vezes caracterizado pela referência aos eventos potenciais e às consequências, ou uma combinação destes. Nota 4: O risco é muitas vezes expresso em termos de uma combinação de consequências de um evento (incluindo mudanças nas circunstâncias) e a probabilidade de ocorrência associada. Nota 5: A incerteza é o estado, mesmo que parcial, da deficiência das informações relacionadas a um evento, sua compreensão, seu conhecimento, sua consequência ou sua probabilidade. Forma de expressão: (medida) nível de risco: magnitude de um risco ou combinação de riscos, expressa em termos da combinação das consequências e de suas probabilidades. Obs. Ambas, consequência e probabilidade de ocorrência podem ser expressas quantitativa ou qualitativamente.

continua

Tabela 3.2 – Continuação.

Definições Qualitativas e Métricas

Society of Risk Analysis (SRA) (SRA, 2018a)

Definição Qualitativa: Risco é definido em relação as consequências (efeitos, implicações) de uma atividade futura (interpretada em senso amplo para compreender, por exemplo, fenômenos naturais) com respeito a algo que tenha valor aos humanos. As consequências são geralmente vistas com relação a valores de referência (valores planejados, objetivos, etc.) e o foco é frequentemente nas consequências negativas ou indesejáveis. Existe sempre ao menos um resultado que é considerado negativo ou indesejável.

Definições qualitativas gerais:

- a) Risco é a possibilidade de uma ocorrência indesejada.
- b) Risco é o potencial para a realização de consequências indesejáveis ou negativas de um evento.
- c) Risco é a exposição para uma proposição (e.g., ocorrência de uma perda) a qual é incerta.
- d) Riscos são as consequências de uma atividade e incertezas associadas.
- e) Risco é a incerteza sobre e severidade das consequências de uma atividade com respeito a algo que tenha valores aos humanos.
- f) Risco é a ocorrência de alguma consequência especificada de uma atividade e incertezas associadas.
- g) Risco é o desvio de um valor de referência e incertezas associadas.

Forma de expressão: métricas/descrições de risco

- a) A combinação de probabilidade e magnitude/severidade de consequências.
- b) A combinação da probabilidade de ocorrência de um perigo e a métrica de vulnerabilidade dado a ocorrência do perigo.
- c) As três componentes (s_i , p_i , c_i), onde s_i é o i th cenário, p_i é a probabilidade deste cenário e c_i é a consequência do cenário i .
- d) As três componentes (C' , Q , K), onde C' é uma consequência especificada, Q é a medida de incerteza associada com C' (tipicamente probabilidade), e K o conhecimento prévio que suporta C' e Q (o qual inclui o julgamento da força deste conhecimento).
- e) Consequências esperadas (dano, perda):
 - i. Número esperado de fatalidades em um período de um ano ou número de fatalidades esperado por 100 milhões de horas de exposição.
 - ii. $P(\text{ocorrência de perigo}) \times P(\text{exposição do objeto} \mid \text{ocorrência do perigo}) \times E(\text{dano} \mid \text{perigo e exposição})$. Isto é, o produto da probabilidade de ocorrência do perigo, da probabilidade que o objeto é exposto dado o perigo e da expectativa de dano dado que o perigo ocorra e o objeto é exposto.
 - iii. não utilidade esperada.
- f) Uma distribuição de possibilidade para o dano (e.g., distribuição triangular de possibilidade).

continua

Tabela 3.2 – Continuação.

Definições Qualitativas e Métricas

European Cooperation for Space Standardization (ECSS) (ECSS, 2008, 2012)

Definição Qualitativa: Situação indesejada ou circunstância que possui ambos probabilidade de ocorrência e potencial consequência negativa em um projeto.

Nota 1: Riscos são inerentes em qualquer projeto e podem surgir a qualquer momento durante o ciclo de vida do projeto.

Nota 2: Previsibilidade e controle de eventos facilitam a redução de risco.

Nota 3: Os temas gerenciamento de risco, mitigação de risco e controle de risco são de uso comum na ECSS.

Nota 4: Adaptado da ISO 17666:2003.

Forma de expressão: (medida - magnitude de risco) através de um índice de risco que é a combinação de probabilidade de ocorrência e severidade. A ECSS apresenta um exemplo de categorização em uma escala de cinco níveis, utilizando advérbios de tempo (subjetivo) com complementação de frequência relativa (descritiva) para a componente probabilidade de ocorrência e uma escala, também de cinco níveis, para a componente de severidade utilizando intervalos de probabilidade.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) (NASA, 2016b, 2017)

Definição Qualitativa: Risco é o potencial para insuficiências com respeito a atingir explicitamente objetivos. Como aplicado em programas e projetos, estes objetivos são traduzidos em requisitos de desempenho, os quais podem estar relacionados a domínios de execução da missão (e.g., segurança, sucesso da missão, custo e cronograma) ou suporte institucional para execução da missão.

Forma de expressão: Risco é operacionalmente caracterizado como o conjunto de três componentes:

- a) O(s) cenário(s) que leva(m) a degradação de desempenho com relação a uma ou mais medidas de desempenho (e.g., cenários que levam a prejuízo/dano, fatalidade, destruição de ativos chaves, cenários que levam a exceder limites de massa, custos excessivos, escorregamento de cronograma).
- b) A(s) probabilidade(s) (qualitativa ou quantitativa) dos cenários.
- c) A(s) consequência(s) (qualitativa ou severidade quantitativa da degradação de desempenho) que poderiam resultar se os cenários fossem ocorrer.

Nota 1: Incertezas são incluídas na avaliação de probabilidades e identificação de cenários.

Nota 2: Um risco é um evento futuro incerto que poderia ameaçar o alcance dos objetivos de desempenho ou requisitos. Um “problema”, por outro lado, descreve uma questão que existe agora, ou um evento que tenha ocorrido com 100% de certeza, e está ameaçando o atingimento do objetivo ou requisito.

continua

Tabela 3.2 – Conclusão.

Definições Qualitativas e Métricas
International Council on Systems Engineering (INCOSE) (INCOSE, 2011)
Definição Qualitativa: Risco é a medida da inabilidade potencial para atingir completamente os objetivos dentro dos custos, prazos e restrições técnicas definidos.
Forma de expressão: Risco tem duas componentes: a) A probabilidade (<i>likelihood</i>) de falhar no atendimento de um resultado particular. b) As consequências (ou impacto) de falhar no atendimento do resultado.
Um risco tem a probabilidade de ocorrência que é maior do que zero, mas menor do que um, uma consequência de ocorrência maior do que zero e um prazo no futuro.
Project Management Institute (PMI) (PMI, 2017)
Definição Qualitativa: Risco do projeto é um evento ou condição incerta que, se ocorrer, provocará um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto tais como escopo, cronograma, custo e qualidade. Um risco pode ter uma ou mais causas e, se ocorrer, pode ter um ou mais impactos. Uma causa pode ser um requisito, premissa, restrição ou condição potencial que crie a possibilidade de resultados negativos ou positivos.
Forma de expressão: Análise qualitativa: com o objetivo de priorizar riscos individuais para análises adicionais ou ações através da avaliação da probabilidade de ocorrência e impacto, assim como outras características, como: urgência, proximidade, controlabilidade, detectabilidade e conectividade, de forma subjetiva com base na percepção de risco do time de projeto e outros stakeholders. Mostra dois exemplos de formas de apresentação dos dados de risco: a) A matriz de probabilidade e impacto (permitindo liberdade quanto à escala e níveis adotados) para ameaças (risco com impacto negativo) e oportunidades (risco com impacto positivo) e a combinação de probabilidade de ocorrência e impacto (multiplicação) definindo um nível de risco. b) Gráficos hierárquicos para utilização quando são apresentados mais de dois parâmetros, por exemplo, o gráfico de bolhas.
Análise quantitativa: com objetivo de numericamente analisar o efeito combinado dos riscos individuais identificados e outras fontes de incerteza nos objetivos gerais do projeto. O documento apresenta um exemplo de escala para probabilidade de ocorrência, usando intervalos de probabilidade, e para o impacto, dependente do objetivo sob análise (ex: intervalos de tempo para impactos de cronograma). Apresenta como principal técnica de representação de incertezas o uso de distribuições de probabilidades. Também são apresentadas diferentes formas de análise dos dados, como exemplo: simulação (e.g., Monte Carlo), análise de sensibilidade, análise de árvore de decisão e diagramas de influência.

Fonte: Produção do autor.

Adicionalmente à necessidade de consistência e precisão na terminologia, Johansen e Rausand (2015) destacam a importância de se estar ciente das limitações das ferramentas e formas de expressão do conceito estabelecido (e.g., interpretações de probabilidade (GALAVOTTI, 2017)).

Goerlandt e Reniers (2018) também destacam a importância da seleção adequada da perspectiva de risco, incluindo implicações para a validação da análise do risco e para a garantia de comunicação bem-sucedida. Os autores concluem que a análise de risco com o uso de perspectivas baseadas em incerteza é mais apropriada para aplicações práticas e geram previsibilidade quando comparado com perspectivas baseadas em probabilidades de frequência.

Assim como as diversas possibilidades de perspectivas de risco, a classificação de diferentes tipos de riscos pode ser realizada de diferentes maneiras. Normalmente, cada organização define a classificação de riscos de acordo com as suas necessidades e utilizam atributos próprios para tal definição.

Por exemplo, em um contexto mais genérico, Klinke e Renn (2002) desenvolveram uma classificação de riscos voltada para a definição da melhor estratégia de gerenciamento de risco a ser utilizada em organizações regulatórias (e.g., *German Government's Advisory Council on Global Change – WBGU*) utilizando a integração de critérios de preocupação pública (i.e., deliberativo) com a visão objetiva de especialistas (i.e., componentes de probabilidade de ocorrência e consequências).

Enquanto na área espacial, a NASA (NASA, 2011) apresenta a definição de riscos individuais (*individual risk*), definido como uma questão ou preocupação específica para um ou mais stakeholders, que é percebida como um risco para o atendimento de um ou mais requisitos de desempenho, nos domínios de segurança, técnico, custo ou cronograma. Coletivamente, os riscos individuais representam o conjunto de cenários indesejados que colocam em risco o atendimento de requisitos de desempenho. Quando os riscos individuais que tratam do mesmo requisito de desempenho são agregados (e.g., por modelagem de cenários utilizando PRA), são denominados de risco de desempenho

(*performance risk*), definidos como a probabilidade do não atendimento de um requisito de desempenho.

Entretanto, para a identificação e avaliação de riscos na fase inicial do ciclo de vida, o JPL/NASA (HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2012) define riscos de com referência ao ciclo de vida, diferenciando entre riscos de missão (*mission risk*) e riscos de implementação (*implementation risk*). Os riscos de missão envolvem eventos negativos que ocorrem durante a operação, resultando em perda de dados da missão, e os riscos de implementação envolvem eventos negativos que ocorrem antes da operação, resultando em consumo das margens de custo e cronograma da missão.

A ECSS (ECSS, 2008) não define uma categorização própria, mas apresenta uma lista de possíveis itens de risco incluindo: risco técnico (e.g., maturidade tecnológica, status de definição de requisitos, interfaces internas/externas, cargas úteis, operações, disponibilidade de margens, time de apoio, time de projeto, entre outros), riscos de custos (e.g., status da definição geral de custo do projeto, margens de custos, disponibilidade de financiamentos, entre outros), riscos de cronograma (e.g., planejamento de aquisições) e outros (e.g., aspectos da organização, imagem pública, restrições políticas).

O INPE define o termo risco em sua Política de Gestão de Riscos (INPE/MCTI, 2017, p. 2) como: “Risco: possibilidade de ocorrência de um evento que venha a ter impacto no cumprimento dos objetivos. O risco é medido em termos de impacto e de probabilidade”. Portanto, há uma definição institucional do termo que traz ao mesmo tempo sua forma de caracterização (i.e., “medição”).

A partir dessa definição geral, entende-se que conceitos mais detalhados podem vir a ser adotados em contextos específicos, mas respeitando a definição institucional. Devido à natureza do ambiente do CPRIME, diferentes variações da definição geral do termo risco foram adotadas, de acordo com as especificidades de diferentes estudos, por exemplo: Risco é uma questão ou preocupação, que é percebida com potencial para realização de eventos com consequências relacionadas ao desenvolvimento, operação, manutenção, segurança e descarte bem-sucedido de uma missão espacial.

3.2.2 Incerteza

A terminologia vaga de incerteza gera diversas controvérsias na literatura e necessita ser apropriadamente determinada para aplicação em qualquer contexto, principalmente porque possui uma variedade de sinônimos como: erro, informação, vago, dispersão, desconhecido, discórdia, indefinido, ambíguo, probabilidade, estocástico, distribuição, confiança, chance entre outros (NASA, 2009). Segundo Grenyer et al. (2021) existem diversas definições e interpretações de incerteza na literatura.

Segundo as definições apresentadas no glossário de termos (SRA, 2018a), as definições qualitativas, formas de expressão (medida, descrição ou caracterização) do conceito incerteza e tipos são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Definições de incerteza.

Definições qualitativas
a) Para uma pessoa ou grupo de pessoas que desconhecem o valor real de uma quantidade ou futura consequência de uma atividade. b) Informação/conhecimento imperfeito ou incompleto sobre uma hipótese, quantidade ou ocorrência de um evento.
Formas de expressão
a) probabilidade subjetiva. b) o par (Q, K) , onde Q é a medida de incerteza e K o conhecimento que suporta Q . c) distribuição de possibilidade ¹ . d) modelo info-gap de incerteza ² .
Tipos
a) Incerteza epistêmica: incerteza derivada do conhecimento/falta de conhecimento b) Incerteza aleatória (estocástica): variação de quantidades em uma população de unidades (comumente representado por um modelo de probabilidade)

¹ A Teoria de Possibilidade é uma teoria matemática que lida com certos tipos de incertezas e é uma alternativa à Teoria de Probabilidade. A Teoria de Possibilidade utiliza dois conceitos principais para sua definição: *possibility* (pos) e *necessity* (nec) (ZADEH, 1978; DUBOIS; PRADE, 2001).

² Info-gap é uma forma de quantificação não probabilística de incerteza. Este método modela a incerteza α como um subconjunto aninhado $\mathcal{U}(\alpha, \tilde{u})$ em torno de um ponto estimado \tilde{u} de um parâmetro. Ou seja, partindo de um ponto estimado, um modelo de incerteza mede o quão distante outros valores do parâmetro estão do ponto estimado. A teoria de decisão Info-gap busca otimizar robustez a falhas sob severa incerteza (BEN-HAIM, 2006).

Fonte: Adaptada de SRA (2018a) (tradução nossa).

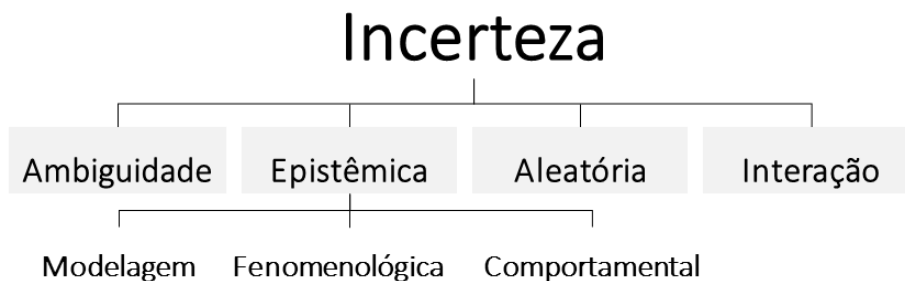
Segundo Aven (2016c), probabilidade é a forma mais comum de representação (expressão) de incertezas, existindo variações de sua utilização, como intervalos

imprecisos de probabilidade. Entretanto, formas não probabilísticas e qualitativas com base na Teoria da Possibilidade – *Possibility Theory* (ZADEH, 1978) e Teoria da Evidência – *Dempster-Shafer Theory DST / Theory of Evidence* (SHAFER, 1976) também são consideradas alternativas (e.g., (FILIPPI et al., 2019; BANI-MUSTAFA et al., 2020a)).

Um modelo mais detalhado de classificação de incertezas em projetos de desenvolvimento de sistemas complexos é proposto por Thunnissen (2005), também apresentado em Thunnissen (2003), conforme a Figura 3.3. O modelo consiste em uma árvore hierárquica contendo quatro classes de incertezas dominantes.

A incerteza de ambiguidade está relacionada à pequena precisão na comunicação entre os especialistas durante o desenvolvimento de um projeto. Incerteza epistêmica está relacionada à falta de conhecimento ou informações em atividades ou processos de modelagem (i.e., precisão de modelos na descrição do sistema real de interesse), fenomenológica (i.e., comportamento do sistema) e comportamental (i.e., como os indivíduos e organizações agem). A incerteza aleatória é a variação inerente associada a sistemas físicos. Por fim, a incerteza de interações surge da interação dos vários eventos e diferentes disciplinas, assim como de desentendimentos entre especialistas sobre informações técnicas, principalmente quando somente estimativas subjetivas são possíveis (THUNNISSEN, 2003).

Figura 3.3 - Classificação de incertezas para o projeto e desenvolvimento de sistemas complexos.



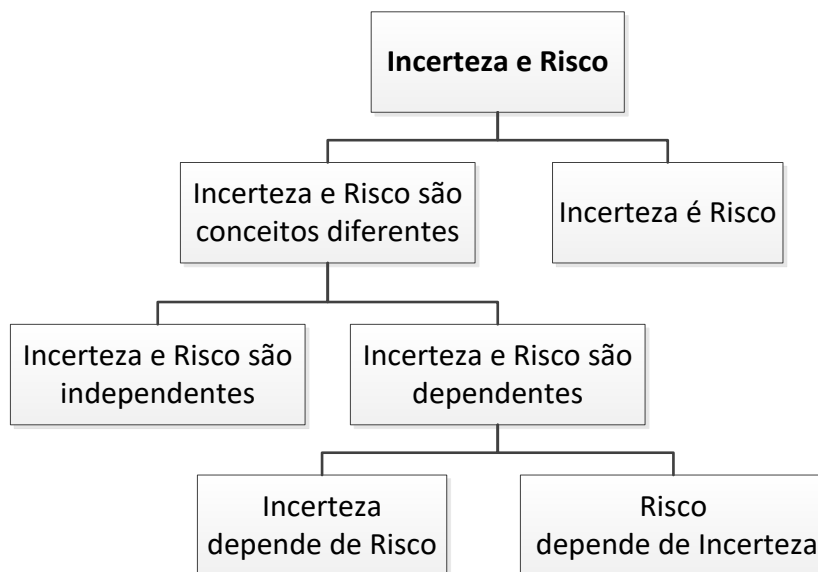
Fonte: Adaptada de Thunnissen (2003).

3.2.3 Interpretações e relacionamentos entre os conceitos risco e incerteza

Aven (2012a) define risco com relação próxima de incerteza e afirma que existem ambiguidades entre as noções de risco e incerteza refletidas em abordagens práticas de diferentes áreas. Samson et al. (2009) apresentam um diagrama com diferentes relacionamentos entre risco e incerteza identificados através de revisão da literatura nas áreas de economia, finanças, pesquisa operacional, engenharia e matemática, conforme a Figura 3.4.

Nota-se que alguns pesquisadores, especialmente no mundo da economia clássica e finanças, definem risco igual a incerteza, perspectiva dominante anterior à distinção entre risco e incerteza realizada por Frank Knight (KNIGHT, 1921) e J. M. Keynes (KEYNES, 1921). Neste entendimento, incertezas ou riscos são quantificáveis e seguem um conjunto ou uma única distribuição de probabilidades (SAMSON et al., 2009).

Figura 3.4 - Diferentes entendimentos do relacionamento entre risco e incerteza.



Fonte: Adaptada de Samson et al. (2009).

Segundo Samson et al. (2009), muitos autores acreditam que risco e incerteza são conceitos diferentes, mas ainda não concordam em como estes estão relacionados. Alguns acreditam que riscos de um sistema dependem da incerteza do ambiente do sistema e outros acreditam que incerteza no sistema

depende do risco no sistema e ainda, alguns autores argumentam que não há necessariamente alguma relação entre incerteza e risco. Allan Herbert Willett (WILLETT, 1901), Frank Knight (KNIGHT, 1921), John Maynard Keynes (KEYNES, 1937), Stanley Kaplan e B. John Garrick (KAPLAN; GARRICK, 1981) são alguns dos principais autores que defendem que risco e incerteza são conceitos diferentes.

O diagrama da Figura 3.4 também apresenta duas correntes distintas no entendimento que considera risco e incerteza como diferentes conceitos. A primeira, considera independência entre os conceitos risco e incerteza, por exemplo, Irvin Pfeffer (PFEFFER, 1956) considera risco um estado objetivo do mundo e incerteza um estado da mente. Enquanto a corrente que defende a existência de dependência entre risco e incerteza é observada principalmente no mundo da engenharia, cuja origem da análise de risco está na indústria e pesquisa da área de energia nuclear (SAMSON et al., 2009).

Segundo Hansson (2018) as principais discussões da literatura incluem a distinção entre risco e incerteza ao longo da dimensão objetivo-subjetivo em utilizações não regimentais (informais), onde o conceito de incerteza parece pertencer ao domínio subjetivo, com base em conhecimento e crenças, enquanto risco é tratado como componente objetivo, com base em dados e frequência. Diferentemente, na teoria de decisão (formal), uma decisão é realizada sob risco se as probabilidades relevantes estão disponíveis e, sob incerteza, se as probabilidades estão indisponíveis ou parcialmente disponíveis (e.g., intervalo de probabilidades).

3.2.4 Probabilidade

O atual entendimento de probabilidade, como uma noção quantitativa e expressa numericamente em um intervalo 0-1 tem origem no século 17, através de discussões sobre jogos de chance (i.e., *problem of points*) entre dois importantes matemáticos franceses, Blaise Pascal e Pierre Fermat, provocadas por Antoine Gombaud (i.e., *the Chevalier de Méré*) que culminaram na teoria de probabilidade (SINGPURWALLA, 2006).

A teoria de probabilidade possui diferentes níveis de maturidade entre sua definição matemática e fundamentação filosófica. O aspecto matemático é considerado bastante consolidado, principalmente após a axiomatização definida por Andrej Kolmogorov em 1933. Entretanto, segundo Galavotti (2017), o aspecto filosófico, quanto as interpretações de probabilidade, ainda é uma questão em aberto, controversia e que gera grandes debates acadêmicos.

Desde o estabelecimento da teoria de probabilidade, sua interpretação tem sido caracterizada pela dualidade de significado, de um lado estatístico, considerando as leis estocásticas de processos aleatórios e, de outro lado, epistemológico, dedicado à avaliação de graus de crença (GALAVOTTI, 2017).

A estimação de probabilidades pode utilizar diferentes interpretações, conforme apresentado na Tabela 3.4. Aven e Reniers (2013) defendem que é necessário deixar claro o que a probabilidade significa em aplicações práticas de análise probabilística de riscos, pois esta interpretação afeta diretamente o processo de tomada de decisão. Jensen e Aven (2018) argumentam que a interpretação de probabilidade subjetiva com referência a um padrão de incerteza (e.g., *urn interpretation*) deveria ser a interpretação mais frequentemente encontrada em análise de risco, entretanto, muitos trabalhos assumem a utilização da interpretação de frequência relativa sem apresentar justificativas adequadas.

Tabela 3.4 - Abordagens, origem teórica e interpretações de probabilidade.

Abordagem	Teoria de Probabilidade	Interpretação
Objetiva (racionalidade)	Clássica	N.A.
	Frequência relativa	Propensão
	Lógica	N.A.
Subjetiva	Subjetiva	Apostas e tipos relacionados
		Com base em um modelo de incerteza
	Imprecisa (intervalo)	N.A.

Fonte: Produção do autor.

A Tabela 3.5 apresenta um sumário das características de base conceitual, abordagem conceitual e principais problemas das teorias e interpretações de probabilidade. Adicionalmente, o Apêndice B apresenta uma revisão da literatura sobre as interpretações e princípios fundamentais.

Tabela 3.5 – Principais características das interpretações de probabilidade.

Características	Clássico	Frequência relativa	Subjetivo
Hipótese principal	Princípio da indiferença	Frequência de ocorrência	Grau de crença
Base conceitual	Simetria hipotética	Classe de referência e dados passados	Conhecimento e intuição
Abordagem conceitual	Conjectural	Empírico	Subjetivo
Problemas	Ambiguidade no Princípio da Indiferença ¹	Problema de classe de referência ²	Opinião não verificada

¹ Princípio da Indiferença (*Principle of Indifference*) propõe que cada evento ou resultado é equiprovável. Isto é, supondo que existem $n > 1$ possibilidades (resultados) mutuamente exclusivas (resultados únicos) e coletivamente exaustivas (número finito de resultados), o princípio da indiferença define que: se “ n ” possibilidades são indistinguíveis então cada possibilidade recebe uma probabilidade igual a $1/n$.

² Problema de classe de referência (*reference class problem*) é o problema de decidir que classe utilizar quando se calcula a probabilidade de um caso particular. Assim, existem vários valores possíveis de probabilidades para o mesmo evento, dependendo da classe de referência na qual o evento está incluído.

Fonte: Adaptada de De Elía e Laprise (2005).

3.2.5 Outros termos relacionados

A disponibilidade de dados, informações, conhecimento ou outros recursos são cruciais para a análise de riscos e tomadas de decisão, justificando a necessidade de estabelecer esses conceitos e seus relacionamentos em um contexto de aplicação. A Tabela 3.6 e Figura 3.5 apresentam, respectivamente, a definição dos termos e os relacionamentos descritos a seguir, conforme definidos pela NASA (2009).

Segundo a NASA (2009), dados são observáveis ou medidos, enquanto informação não é necessariamente observável. Dados isoladamente, ou seja, fora de um processo de inferência estruturado, tem pouca utilidade, pois refletem somente uma relação determinística entre parâmetros (e.g., pressão, tempo, número). Portanto, dados não indicam a potencial variabilidade, consistência ou relacionamentos entre variáveis. Por isso, para produzir informações a serem utilizadas para realizar inferências é necessária uma avaliação dos dados.

Para avaliar ou manipular dados é necessário um modelo (“*model of the world*”) que permita a tradução das observações reais em informação. Para a análise de riscos quantitativa, existem os modelos aleatórios e determinísticos, onde o primeiro implica uma inerente aleatoriedade no resultado de um processo (i.e.,

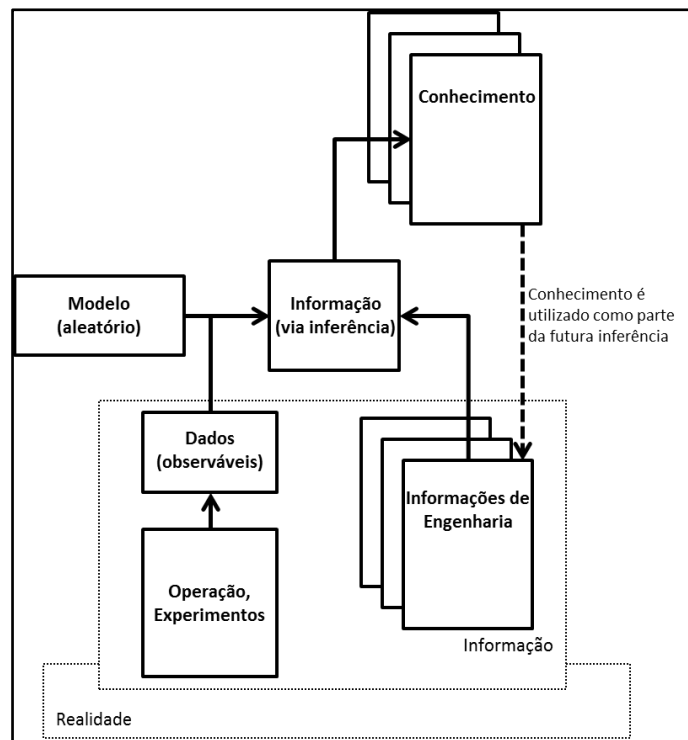
eventos estocásticos), cujo resultado é probabilístico, enquanto o segundo gera resultados com predição exata, através de expressões matemáticas fundamentais.

Para prever probabilidades de resultados desejados, modelos aleatórios são usados pois não há uma forma direta de obtenção de probabilidades por não ser quantidades observáveis ou medidas.

Geralmente, os modelos probabilísticos utilizados são paramétricos e a maioria dos parâmetros do modelo são conhecidos imprecisamente, portanto, incertos. Para representar este tipo de incerteza, existe o conceito de incerteza epistêmica, que demonstra o quão preciso é o estado de conhecimento de um indivíduo com relação ao modelo desenvolvido.

Entretanto, se qualquer parâmetro do modelo é imprecisamente conhecido, independentemente da utilização de um modelo aleatório ou determinístico, existe incerteza epistêmica associada ao modelo. Não limitado à probabilidades, incerteza epistêmica também pode ser associada com os dados, contexto, informação do modelo, conhecimento e o processo de inferência (NASA, 2009).

Figura 3.5 - Representação lógica dos conceitos utilizados pela NASA.



Fonte: Adaptada de NASA (2009).

Tabela 3.6 - Definição de termos importantes para os conceitos risco e incerteza.

Termo	Definição
Dados	Valores nitidamente observados (e.g., através de medição) de um processo físico. Dados podem ser factuais ou não, por exemplo, podem ter incertezas como imprecisão de medição, truncamento e erros de interpretação.
Informação	O resultado de avaliação, processamento ou organização de dados de forma que adicione conhecimento.
Conhecimento ¹	O que é conhecido através da informação reunida.
Inferência	O processo de obter uma conclusão com base no conhecimento.
Modelo	Uma construção matemática que converte informações em conhecimento. Dois tipos de modelos são usados para o propósito de análise de riscos: a) Modelo Aleatório: pertencente a eventos estocásticos (não determinísticos), o resultado do qual é descrito por uma probabilidade. Do Latin <i>alea</i> , cujo significado é chance de jogo. b) Modelo Determinístico: pertencente a eventos com predição exata (ou preciso), o resultado do qual é conhecido com certeza se as entradas são conhecidas com certeza. Este é o tipo de modelo mais familiar para cientistas, engenheiros e inclui relações matemáticas estabelecidas.
Epistêmico	Pertencente ao grau de conhecimento de modelos e seus parâmetros. Do Grego <i>episteme</i> (conhecimento).

¹ Aven (2016c) e (2018a) apresentam uma discussão sobre a definição do conceito conhecimento, onde a literatura de epistemologia define o termo como crenças verdadeiras justificadas (*justified true belief*), enquanto Aven declara que esta definição não funciona na prática, pois não há argumentação sobre quem está na posição de julgar crenças como verdade. Alternativamente, Aven apresenta a definição de conhecimento como as crenças justificadas (*justified beliefs*) no contexto de análise de risco.

Fonte: Adaptada de NASA (2009).

3.2.5.1 O relacionamento entre conhecimento, risco e incerteza

O relacionamento entre conhecimento e risco está profundamente enraizado nos fundamentos e discussões filosóficas da disciplina Análise de Riscos, denominado de epistemologia do risco. Segundo Hansson (2018), quando há risco, deve existir algo que é desconhecido ou tem resultado desconhecido, portanto, conhecimento sobre o risco é "ter ciência sobre a falta de conhecimento" e esta combinação resulta em questões complicadas do ponto de vista epistemológico.

Quando declarado que existem "probabilidades conhecidas" é necessário prover algum esclarecimento, pois somente em casos muito particulares e considerando as limitações das interpretações de probabilidade, as probabilidades são "conhecidas", como em casos idealizados na literatura (e.g., utilizando dados ou moedas). Em situações da vida real, mesmo se agirmos com base em uma estimativa de probabilidade, não estamos totalmente certos de que essa estimativa está exatamente correta, portanto, há incerteza (LOPES, 1987).

Portanto, se a definição de conceitos ou suas formas de expressão utilizam probabilidade, é essencial o claro entendimento das diferentes interpretações de probabilidade (i.e., clássica, frequências, lógica ou subjetiva) e seus relacionamentos com o conhecimento.

Por exemplo, a interpretação lógica de probabilidade adotada por John Maynard Keynes (KEYNES, 1921) utiliza explicitamente o conhecimento na sua definição do termo risco e a determinação de probabilidade através da relação lógica entre uma proposição que estabelece uma conclusão (*argument*) e um conjunto de evidências (*premisses*). Nesta abordagem epistêmica, a probabilidade de uma conclusão, dado certas evidências, corresponde ao grau de crença que é "racional". Portanto, a probabilidade resultante é "objetiva" numericamente, na medida que corresponde ao que pode ser logicamente deduzido daquela evidência (FEDUZI; RUNDE; ZAPPIA, 2013). Keynes também introduziu o conceito de peso das evidências (*evidential weight ou weight of evidence - WoE*) como uma medida do grau de completude de evidência no qual o julgamento de probabilidade é baseado. Além disso, sugeriu um princípio racional de interrupção do processo de aquisição de informação na formação do julgamento de probabilidade, denominado de *stopping problem* (FEDUZI, 2010).

Enquanto na interpretação subjetiva de probabilidade, iniciada por Pierre Simon LaPlace (i.e., *bayesian probability* (STIGLER, 1986)) e posteriormente operacionalizada por Bruno de Finetti (DE FINETTI, 1937) e outros, uma probabilidade numérica precisa poderia ser derivada em qualquer situação e reflete o grau de crença e o conhecimento sobre um determinado evento, desde que, respeitando o requisito de coerência (i.e., satisfazer os axiomas de probabilidade e evitando situações denominadas de "*Dutch Book*"). Neste sentido, de Finetti definiu que a probabilidade atribuída a um determinado evento é determinada em analogia à disposição de um indivíduo em apostar no evento - *willingness to bet* (FEDUZI; RUNDE; ZAPPIA, 2013). Nas interpretações subjetivas de probabilidade, o conhecimento ou falta de conhecimento é a mais importante fonte de incertezas. Nestes casos, a incerteza subjetiva (*epistemic uncertainty*) é determinada pelo nível de conhecimento subjacente disponível em determinada situação de análise de risco.

3.3 Tratamento de riscos e incertezas

Ao longo dos últimos anos, tem ocorrido uma mudança no tratamento de riscos de perspectivas com base em probabilidades, denominados “*narrow perspectives*” (AVEN, 2012b, 2017a), para outras formas não-probabilísticas que evidenciam conhecimento, incertezas e surpresas (i.e., *unforeseen* (AVEN; KROHN, 2014), *black swans* (FAULKNER; FEDUZI; RUNDE, 2017; GLETTE-IVERSEN; AVEN, 2021)), conforme ilustrado na Figura 3.6.

Entretanto, perspectivas de valor esperado (*expected values*) e com base em probabilidades (*probability-based*) ainda tem grande influência na área de risco, embora existam argumentos contra sua utilização.

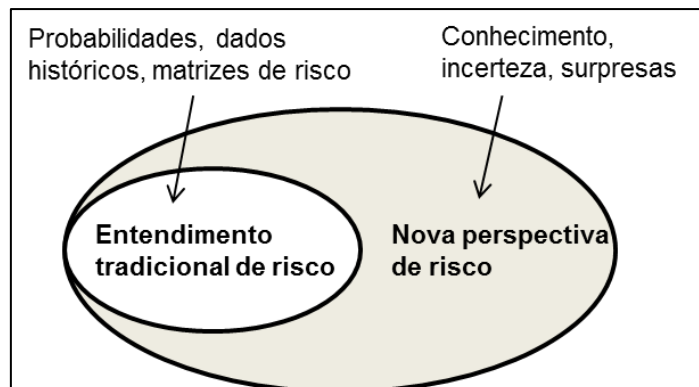
Conforme apontado em Aven (2012b), o uso de valores esperados no gerenciamento de riscos pode desviar decisores da real situação apresentada por riscos. Por exemplo, duas distribuições de probabilidade distintas podem ter o mesmo valor esperado, uma com o centro de massa concentrado no valor esperado e outra com maiores probabilidades de impactos severos. Neste exemplo, o gerenciamento de riscos deve ser diferente para cada uma das situações, onde medidas de precaução (e.g., sistemas emergenciais) deveriam ser projetados para a situação de maior probabilidade de eventos extremos, enquanto não necessariamente ou, na mesma extensão, para a outra situação.

A crítica quanto às perspectivas com base em probabilidades, de forma geral, está relacionada à falta de rigor quanto às interpretações de probabilidade e a ausência de caracterização adequada (e.g., conhecimento de suporte, nível de estimação de premissas).

A mudança de perspectiva de precisa estimação e predição de riscos para a ênfase na caracterização do conhecimento ou falta de conhecimento relacionado ao risco é apontada por Aven (2016c) como o principal desafio do futuro da disciplina Análise de Riscos e do desenvolvimento de processos e ferramentas adequados, principalmente, para situações de grande incerteza. Inversamente, em situações com dados considerados adequados (i.e., com relação ao volume, confiança e aplicabilidade) e fronteiras bem definidas, existem ferramentas

estatísticas e probabilísticas bem estabelecidas para avaliação de risco que proveem suporte útil para tomadas de decisão (AVEN, 2016b).

Figura 3.6 - Proposta de expansão da perspectiva de risco.



Fonte: Adaptada de Aven (2013a).

Para o tratamento de incertezas, existem correntes distintas entre o tratamento probabilístico e não-probabilístico em diferentes metodologias, inexistindo um consenso sobre seus resultados e aplicações (APELAND et al., 2002; AVEN; KVALØY, 2002; NILSEN; AVEN, 2003; SHORTRIDGE et al., 2017).

Em situações de grande incerteza - *deep uncertainty* (WALKER; LEMPERT; KWAKKEL, 2013), ver a Seção 3.3.1 existe larga aceitação da necessidade de utilizar abordagens além de probabilidades e não necessariamente a Teoria de Possibilidade ou Teoria de Evidência, mas a combinação de diferentes abordagens qualitativas e quantitativas.

Entretanto, a análise probabilística é o método predominante utilizado em tratamento de incertezas aleatória e epistêmica. Enquanto para a representação de incerteza aleatória existe um consenso no uso de probabilidades com limitação à interpretação de frequência relativa, para representação e expressão de incerteza epistêmica geralmente não há um embasamento claro. As abordagens de probabilidade bayesiana (subjéitiva) são mais comuns, mas outras alternativas como intervalos de probabilidade, medidas probabilísticas e métodos qualitativos são aplicados na prática (AVEN, 2016c).

Frequentemente, o argumento apresentado para justificar a utilização de probabilidade subjéitiva é quando o conhecimento de suporte é fraco, difícil ou

impossível atribuir “probabilidade objetiva” com alguma confiança. Entretanto, probabilidade subjetiva pode ser sempre assumida para expressar as crenças dos especialistas (AVEN, 2016c).

Segundo Logan et al. (2021), se probabilidade subjetiva é utilizada para expressar incertezas, também é necessário considerar o conhecimento que suporta as probabilidades para informar aos decisores com que base os resultados são apresentados. Uma abordagem comumente empregada para expressar a força do conhecimento prévio é o conceito SoK - *Strength of knowledge* (ASKELAND; FLAGE; AVEN, 2017; AVEN, 2017a), melhor detalhado na Seção 3.3.2.

3.3.1 A taxonomia de diferentes níveis de incerteza

Segundo Aven e Flage (2020) um dos principais desafios de gerenciamento de riscos é caracterizado por situações de grande incerteza (*deep uncertainty*), conceito originalmente definido em Courtney et al. (1997) e posteriormente em Walker et al. (2003) e Lempert et al. (2003), e mais recentemente, em Lempert (2019). Segundo Cox (2012), as principais características de situações sob grande incerteza são:

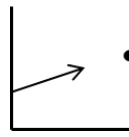
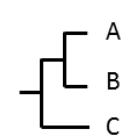

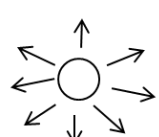
- a) Indisponibilidade de modelos de risco validados e confiáveis que geram probabilidades de consequências futuras para alternativas de decisão;
- b) A relevância dos dados do passado, para predição de resultados futuros, gera dúvidas;
- c) Especialistas discordam sobre prováveis consequências de alternativas, ou pior, chegam a consenso injustificável (faltam evidências de comprovação) que substituem o conhecimento das incertezas e lacunas de informação com pensamento coletivo;
- d) Decisores ficam divididos sobre qual ação tomar a fim de reduzir os riscos e aumentar benefícios.

A Figura 3.7 apresenta uma sugestão de taxonomia de níveis de incerteza apresentada por Cox (2012) (similar ao modelo apresentado em Marchau et al.

(2019)), onde alguns fatores relacionados ao contexto da análise de risco são utilizados para distinguir níveis de incerteza. Neste modelo, os níveis 3 e 4 foram classificados como grande incerteza, distinguindo de situações em que as incertezas possuem probabilidades conhecidas e são tratáveis com ferramentas estatísticas ou análise de cenários.

Apesar das críticas a este modelo, apresentadas em Aven (2013c) (i.e., terminologia baseada no pensamento estatístico tradicional e falta de clareza na interpretação de probabilidades), ele é considerado válido para classificar situações quanto ao nível incerteza.

Figura 3.7 - Taxonomia de incertezas para diferentes contextos.

	Nível de incerteza	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
		<i>deep uncertainty</i>				
Determinismo	Contexto	Futuro suficientemente claro 	Futuros alternativos (com probabilidades) 	Multiplicidade de futuros plausíveis 	Futuro desconhecido 	Ignorância total
	Modelo do sistema	Um único modelo do sistema	Um único modelo do sistema com parametrização probabilística	Muitos modelos do sistema com estruturas diferentes	Modelo do sistema desconhecido	
	Saídas do sistema	Uma estimativa pontual e intervalo de confiança para cada saída	Vários conjuntos de estimativas pontuais e intervalos de confiança para as saídas, com uma probabilidade associada a cada conjunto	Um intervalo conhecido de saídas	Saídas desconhecidas	
	Pesos nas saídas	Uma estimativa única dos pesos	Muitos conjuntos de pesos, com uma probabilidade associada a cada conjunto	Um intervalo conhecido de pesos	Pesos desconhecidos	

Fonte: Adaptada de Cox (2012).

Segundo Cox (2012), para situações sob grande incerteza existe pouco ou nenhum acordo, até mesmo, sobre qual modelo de decisão utilizar. Nestes

contextos, sentimentos e crenças podem dominar as discussões e convicções ficam omitidas pela ausência de informações objetivas suficientes para dar suporte durante análises de decisão e resolução de conflitos. Cox defende que os decisores devem escolher políticas e não eventos e consequências de risco, com foco em como se deve agir, ao invés de uma descrição dos riscos em si.

Segundo Aven (2013c), a utilização de diferentes tipos (e.g., *robust analysis*, *adaptive analysis*) ou combinação de análises pode ser útil em muitos casos para informar tomadas de decisão sob grande incerteza, entretanto, pode existir grande arbitrariedade nos julgamentos realizados pelos avaliadores e também limitações das ferramentas utilizadas. Como consequência, a apresentação de resultados não deve ser realizada de forma enfática e conclusiva, pois sempre existirá a necessidade de revisão e julgamento gerencial que colocará os resultados de análises em um contexto maior antes que a decisão seja tomada.

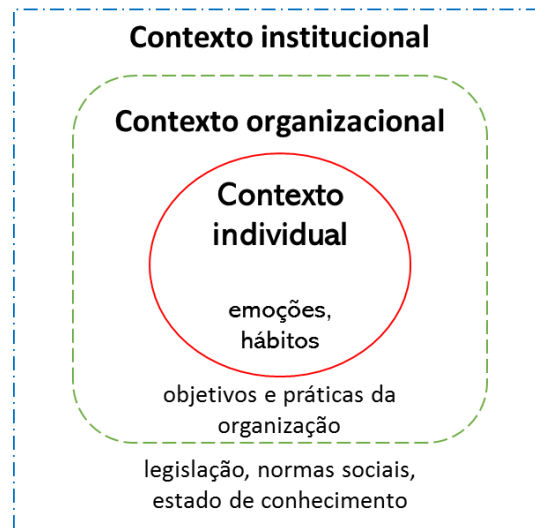
Shortridge et al. (2017) apresentam uma comparação entre três abordagens diferentes (i.e., *qualitative uncertainty factors*, *probability bounds* e *robust decision making*) para situações de grande incerteza, concluindo que métodos probabilísticos são inadequados para o tratamento de situações sob grande incerteza.

No contexto de organizações de desenvolvimento de projetos, autores como Yeo e Ren (2009) e Shenhar e Dvir (1996) defendem que projetos com grande incertezas e alta complexidade necessitam de maior esforço das organizações em gerenciamento de riscos, integração de sistemas e gerenciamento de configuração para adequadamente lidar com incertezas.

O trabalho de Stanton e Roelich (2021) apresenta a importância de considerar os diferentes níveis de influência institucionais, organizacionais e individuais de contexto de decisão em métodos DMDU. Entretanto, esses autores concluíram que muitos métodos da literatura negligenciam os contextos organizacionais e individuais na qual a tomada de decisão ocorre e sugerem que a criação de métodos para DMDU iniciem pelo entendimento desses contextos e suas relações. Neste sentido, Stanton e Roelich (2021) e Cuppen et al. (2021)

apresentam uma representação dos contextos e relações entre eles a serem consideradas em modelos de DMDU, conforme a Figura 3.8.

Figura 3.8 - Representação do relacionamento entre os contextos institucional, organizacional e individual a serem tratados em modelos de DMDU.



Fonte: Adaptada de Stanton e Roelich (2021).

3.3.2 Força do Conhecimento (Strength of Knowledge – SoK)

Os modelos de análise de risco probabilísticos (PRA) são utilizados para o tratamento de incerteza aleatória, através da geração de distribuições de probabilidade (i.e., funções de densidade de probabilidade – pdf) para parâmetros desejados de análise (STAMATELATOS; DEZFULI, 2011), portanto, carecem de tratamento de incertezas epistêmicas. O conceito SoK, definido inicialmente em Flage e Aven (2009), tem como objetivo suprir essa lacuna ao classificar o grau de incerteza epistêmica de modelos PRA, utilizando como referência o conhecimento. Segundo a proposta original de Flage e Aven, as características que definem o SoK são:

- a) justificativas das premissas utilizadas;
- b) quantidade de dados/informações confiáveis e relevantes;
- c) concordância entre especialistas;
- d) entendimento do fenômeno envolvido.

A avaliação do SoK consiste no julgamento das características (a – d) utilizando os critérios apresentados na Tabela 3.7, resultando em três possíveis níveis de incerteza de um modelo (i.e., menor, moderado e significativo). O nível significativo de incerteza é classificado se ao menos um dos critérios for atendido, o menor nível de incerteza deve atender todos os critérios e, as situações que não se enquadram em um dos extremos, são classificadas com incerteza moderada. O nível de SoK julgado provê algum nível informacional sobre as incertezas epistêmicas envolvidas na análise do risco e pode fazer parte da descrição do risco (AVEN, 2017a).

Tabela 3.7 - Modelo de avaliação do SoK.

Nível de incerteza	Critério de avaliação do SoK
Incerteza significativa	Uma ou mais das seguintes condições são atendidas: - Os fenômenos envolvidos não são bem compreendidos; modelos são inexistentes ou conhecido / acreditado por dar previsões ruins. - As premissas feitas representam grandes simplificações. - Os dados não estão disponíveis ou não são confiáveis. - Falta concordância / consenso entre os especialistas.
Incerteza menor	Todas as seguintes condições são atendidas: - Os fenômenos envolvidos são bem compreendidos; os modelos usados são conhecidos por dar previsões com a precisão necessária. - As premissas feitas são consideradas muito razoáveis. - Muitos dados confiáveis estão disponíveis. - Existe um amplo consenso entre os especialistas.
Incerteza moderada	Condições entre aquelas que caracterizam incerteza significativa e menor, por exemplo: - Os fenômenos envolvidos são bem compreendidos, mas os modelos utilizados são considerados simples / pouca experiência. - Alguns dados confiáveis estão disponíveis.

Fonte: Adaptada de Flage e Aven (2009).

A utilização principal do SoK é na representação de incerteza epistêmica, definida como a incerteza devido à falta de conhecimento, de um modelo de avaliação de risco probabilístico - PRA (BANI-MUSTAFA et al., 2020c). Entretanto, o SoK também é utilizado para representação do conhecimento que suporta os elementos da conceituação de um risco de forma genérica como, por exemplo, em Aven e Kristensen (2019) onde risco é descrito como a combinação de consequências, incertezas e o conhecimento subjacente das incertezas, conforme a representação: $R = (C', Q|K)$.

A partir da proposta inicial do SoK, outros modelos utilizando variações discretas de classificação individual dos elementos de composição foram desenvolvidos como formas alternativas e com o objetivo de prover um maior detalhamento de cada atributo ou para outras aplicações diferentes do que modelos PRA. O formato discreto de SoK é representado através de uma árvore de atributos e subatributos (componentes) cujas avaliações individuais são agregadas até a formação de um indicador único. Alguns modelos de SoK identificados da literatura são apresentados em: (AVEN, 2013a; GOERLANDT; MONTEWKA, 2014; BJERGA; AVEN, 2015; BERNER; FLAGE, 2016b).

Portanto, o SoK tem grande importância para os métodos RIDM como forma de prover informações do conhecimento que suporta diferentes riscos ou incertezas para tomadas de decisão, principalmente na visão construtivista, que defende modelagem como um processo cognitivo no qual a “complexidade do mundo” é reduzida a uma construção mental condicionada a um conhecimento subjacente específico (KLINKE; RENN, 2002). Esse conceito ganhou evidência na literatura dentro do contexto das discussões fundamentais da disciplina Análise de Riscos e os argumentos que defendem uma mudança de perspectiva da disciplina para evidenciar aspectos de conhecimento, incertezas (*uncertainty-based risk perspective* (AVEN, 2010)) e surpresas.

Dentre os diversos modelos de SoK encontrados na literatura, destaca-se Bani-Mustafa et al. (2020c), que apresentam um método quantitativo com base em três atributos principais: premissas, dados e entendimento do fenômeno. Os atributos são desdobrados em subatributos, conforme apresentado na Tabela 3.8 e o julgamento utiliza um esquema de pontuações pré-definido em conjunto com pesos definidos via AHP, de acordo com a importância dos atributos. Os autores criticam abordagens de avaliação qualitativas de SoK, pela simples correlação de um nível de SoK à uma descrição dos atributos pre-categorizados em níveis, o que pode ser difícil e impreciso na prática.

Tabela 3.8 - Modelo conceitual hierárquico para avaliação de SoK.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4		
K - Força do conhecimento (SoK)	K1 – Solidez de premissas	K11 – Solidez de premissas			
		K12 – Carga de valor (<i>value ladenness</i>)	K121 – Conhecimento pessoal		
			K122 – Fontes de informação		
			K123 – Plausibilidade e imparcialidade		
			K124 – Independência relativa		
			K125 – Experiência passada		
			K126 – Medidas de desempenho		
	K127 – Concordância entre especialistas				
	K2 – Disponibilidade de dados confiáveis	K22 – Confiabilidade dos dados	K21 – Quantidade de dados disponíveis		
			K221 – Completude		
				K222 – Consistência (relevância)	
				K223 – Validade e conformidade	
				K224 - Acurácia	
	K225 – Temporal				
	K3 – Entendimento do fenômeno		K31 – Anos de experiência		
K32 – Número de especialistas envolvidos					
K33 – Estudos acadêmicos no fenômeno					
K34 – Evidência ou aplicação industrial					

Fonte: Adaptada de Bani-Mustafa et al. (2020c).

4 PROCESSOS DE ANÁLISE DE RISCOS E TOMADAS DE DECISÃO

Segundo Paté-Cornell (2007), a abordagem de análise de riscos, diferentemente da análise de decisão, busca formas de representar as premissas, fontes e métodos de obtenção ou processamento de dados e informações utilizados como suporte da análise a fim de permitir que futuros tomadores de decisão exerçam seus julgamentos utilizando esses resultados. A análise de decisão busca representar as crenças e preferências de tomadores de decisão para identificar alternativas preferenciais através de diferentes estratégias, como análise de custo-benefício, análise de custo-efetividade e análise multi-atributos.

Aven (2016c) considera que os métodos de tomada de decisão, em geral, são abordagens sistemáticas para organizar os prós e contras de alternativas de decisão de forma explicitamente comparáveis. Entretanto, existe sempre a necessidade de revisão gerencial e julgamento para decisão, cuja visão vai além dos resultados da análise de risco.

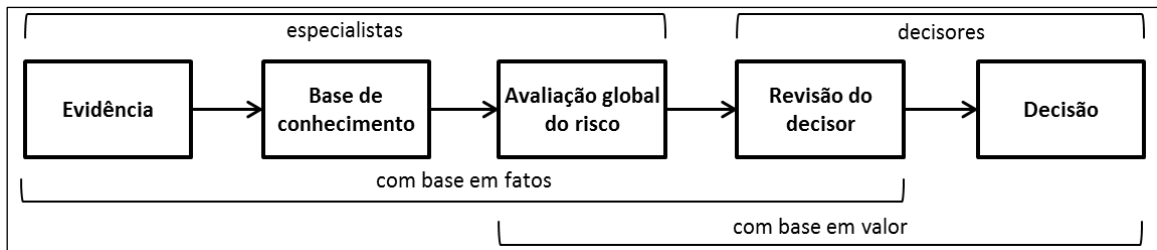
As pesquisas relacionadas à tomada de decisão são classificadas em normativas, descritivas e prescritivas. A abordagem normativa, ligada à teoria de decisão, busca estabelecer como os decisores totalmente racionais deveriam tomar decisões (i.e., axiomatização de escolhas racionais). A abordagem descritiva, ligada às ciências comportamentais de decisão, buscam entender como os decisores realmente tomam decisões e entender o seu comportamento. Enquanto a abordagem prescritiva, ligada à análise de decisão, busca entender como decisores podem tomar decisões melhores ou de forma otimizada (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015).

Embora métodos formais para tomadas de decisão sejam bastante maduros, sua aplicação prática dentro de uma complexa hierarquia organizacional, contendo suas próprias políticas e práticas de gerenciamento de projetos e programas gera diversos desafios de implementação (NASA, 2011; HSU; WEIR, 2014).

Um modelo genérico do fluxo de informações em um processo de tomada de decisão, utilizando os resultados da análise de riscos (i.e. informado ou baseado em riscos), é apresentado na Figura 4.1. Neste modelo, há uma interface crítica entre a avaliação de riscos realizada por especialistas e o processo de tomada

de decisão sob responsabilidade de decisores, pois inclui valores de julgamento ao processo (HANSSON; AVEN, 2014).

Figura 4.1 - Fluxo de informação no processo de tomada de decisão utilizando riscos.



Fonte: Adaptada de Hansson e Aven (2014).

Segundo Hansson e Aven (2014) a interpretação da base de conhecimento realizada por especialistas (passo 2) é normalmente complicada, dado que deve ser realizada com base no conhecimento científico geral disponível ou reconhecido do momento de avaliação, o que não garante todas as condições de segurança para uma tomada de decisão (i.e., *how safe is safe enough?* (FISCHHOFF et al., 1978)). Por exemplo, a antecipação de eventos raros ou as consequências em um futuro distante. Mesmo com essas limitações, um julgamento deve ser realizado sobre os riscos e incertezas envolvidos no caso sob investigação, levando em consideração os valores do decisor.

Macgillivray (2019) afirma que as questões de priorização, classificação, opções de mitigação e consequências de riscos deveriam ser avaliadas baseadas em critérios de decisão mas são, inerentemente, baseadas em valor (i.e., *value-laden*). Entretanto, a inferência científica (e.g., análise, síntese e interpretação de evidências) dentro da avaliação de riscos deve ser livre de valores ao buscar neutralidade.

Normalmente, os modelos normativos de tomada de decisão apresentam a necessidade de incorporação dos critérios de decisão (i.e., preferências) dos decisores na análise de risco, provendo informações “direcionadas” às necessidades de decisão. Entretanto, em situações de incerteza, o uso de métodos descritivos para a análise de risco é mais adequado, pois o especialista provê informações (e.g., premissas utilizadas, fontes e métodos de processamento ou obtenção de dados e informações) que permitam ao tomador

de decisão exercitar os próprios julgamentos baseado nas informações disponibilizadas (PATÉ-CORNELL, 2007).

4.1 Análise de riscos em processos de tomada de decisão

A análise de riscos está intrinsecamente ligada aos processos de tomada de decisão e dependente fundamentalmente da perspectiva ou abordagem de decisão adotada em um determinado contexto.

Segundo Caputo (2013), a abordagem normativa busca estabelecer regras de comportamento individuais, fundamentada nos conceitos de economia de absoluta racionalidade e otimização e estabelece como decisores deveriam tomar decisões. O processo geral de tomada de decisão defendido pela visão normativa estabelece que decisores seguem os passos de definir o problema, identificar os critérios, pesar os critérios, gerar alternativas, julgar cada alternativa em cada critério e calcular a decisão (BAZERMAN; MOORE, 2012a).

A abordagem descritiva busca estudar como as decisões são realizadas, embasando as análises em observações reais e nos conceitos de racionalidade limitada (SIMON, 1955). As pesquisas descritivas contradizem a teoria de racionalidade por considerar as limitações humanas, por exemplo, quanto a capacidade de identificar todas as opções alternativas, suas combinações e resultados associados, além da habilidade de agir de forma totalmente racional (CAPUTO, 2013). As pesquisas realizadas na área de psicologia (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979; KAHNEMAN, 2003a) revolucionaram o entendimento da área de economia através da comprovação de diversas falhas no modelo puramente racionalista quanto explicação do comportamento humano diante de decisões.

A abordagem prescritiva busca estudar como as melhores decisões podem ser realizadas (CAPUTO, 2013) e como os decisores podem agir de forma mais racional (BAZERMAN; MOORE, 2012a).

A relação entre o processo de tomada de decisão e a análise de riscos no desenvolvimento de projetos possui duas vertentes principais, a abordagem baseada em risco (i.e., *risk-based decision making* – RBDM (PASMÁN;

ROGERS; BEHIE, 2022)), fundamentada no princípio racionalista de tomadas de decisão e a abordagem informa ao risco (i.e., *risk-informed decision making* – *RIDM*, como um caso especial de decisões informadas ao risco, *decision making informed by risk* – *DMIR* (KEISLER; LINKOV, 2021)), fundamentada no princípio descritivo de tomadas de decisão.

As áreas de engenharia, em geral, adotam uma visão racionalista de tomadas de decisão com a utilização de processos de decisão baseados em risco (RBDM) (FARHANG MEHR; TUMER, 2006). Segundo a NASA (2010), os processos RBDM proveem uma base de argumentação formal para tomadas de decisão e ajudam a identificar os maiores riscos e esforços a serem priorizados para sua eliminação ou minimização, para isso, utilizam como referência um conjunto restrito de métricas de risco baseadas em modelos (e.g., nível do risco) e geralmente não deixam margens para interpretações ou julgamentos, mas são sujeitos às incertezas de modelagem e seu contexto. Enquanto considerações de custos, viabilidade e preocupações de stakeholders geralmente não fazem parte desta abordagem de decisão.

Em contraste, as decisões informadas ao risco (RIDM / DMIR) podem utilizar um conjunto de medidas de desempenho (e.g., *performance commitments* (NASA, 2010)) e outras informações relacionadas ao risco para informar o decisor não somente o julgamento do risco em si.

O processo RIDM admite que os julgamentos humanos têm um papel relevante nas tomadas de decisão, que não podem se basear somente apenas em informações técnicas, pela existência de lacunas em informações técnicas (i.e., conhecimento) e pela necessidade de se considerar outros elementos de decisão. Segundo a NASA (2010), ao lidar com problemas complexos de tomada de decisão envolvendo múltiplos objetivos concorrentes, o conhecimento cumulativo obtido por experiência pessoal é essencial para integrar elementos técnicos e não técnicos para produzir decisões confiáveis.

Ainda, em situações em que as informações quantitativas e os modelos provêm estimativas com grande incerteza, as abordagens informadas ao risco se fazem mais adequadas para as tomadas de decisão.

4.2 Gerenciamento de riscos

As atividades do processo de gerenciamento de risco, diferentemente do modelo específico para suportar as tomadas de decisão, são realizadas repetidamente e continuamente ao longo do desenvolvimento de um projeto formando um ciclo (*risk management cycle* (ECSS, 2008)) entre as atividades de identificação, avaliação, realização de ações e o contínuo monitoramento.

Diferentes processos de gerenciamento de risco existem na literatura e são compatíveis ou comparáveis (e.g., (ABNT NBR, 2009; AVEN, 2016b)). Segundo Emmons et al. (2018), as práticas de gerenciamento de riscos em projetos diferem e são afetadas pelas características do projeto, como escopo, complexidade e categoria.

Segundo SRA (2018b) e Renn (2008a) existem três estratégias principais de gerenciamento ou governança de riscos, conforme descritas a seguir:

- a) Estratégia informada ao risco (*risk-informed*) refere-se ao tratamento do risco (i.e., evasão, redução, transferência e retenção) utilizando a análise de risco de modo relativo ou absoluto.
- b) Estratégia de cautela ou precaução (i.e., *cautionary / precautionary*) inclui a busca por robustez e resiliência (AVEN, 2017b, 2019b), com a habilidade de adequadamente ler sinais e precursores de eventos sérios. Esta estratégia evidencia características como: contenção, desenvolvimento de substitutos, fatores de segurança, redundância, fortalecimento de sistemas imunes, diversificação de meios para abordagens idênticas, projeto de sistemas com opções de respostas flexíveis, melhoria de condições para gerenciamento de emergências, adaptação do sistema.
- c) Estratégia discursiva (*discursive*) utiliza medidas para construir confiança e confiabilidade através da redução de incertezas e ambiguidades, esclarecimento de fatos, envolvimento de pessoas afetadas, deliberação, prestação de contas.

Apesar da distinção entre as três estratégias, abordagens mistas são utilizadas na maioria das aplicações práticas (e.g., (KLINKE; RENN, 2002; AVEN, 2016c)).

Segundo Renn (2008a), quanto mais recursos envolvidos e maior o nível de incertezas, maior peso é dado à estratégias de cautela e precaução. Enquanto em situações de maior ambiguidade, maior peso é dado à estratégia discursiva. Ao mesmo tempo, a estratégia informada ao risco tem ganhado importância quanto substituição à estratégia baseada em risco (AVEN; KROHN, 2014), onde as decisões são tomadas com base nos resultados quantitativos da análise do risco (e.g., *risk-based utility theory, expected value* (VAN BOSSUYT et al., 2012)), incluindo os limites de aceitabilidade (*risk thresholds*).

Os termos que definem as diferentes atividades ou processos envolvendo o tratamento de riscos são definidos de acordo com a Tabela 4.1. Nota-se que existem conflitos na literatura quanto aos termos avaliação e análise. Por exemplo, em SRA (2018a) o termo *risk analysis* assume a definição mais ampla de processo de avaliação de risco e também análise de risco, enquanto a ABNT NBR/ISO, define o termo de forma mais restrita, equivalente ao termo *risk assessment* do SRA. As definições utilizadas neste trabalho seguem as definições estabelecidas pelo SRA (SRA, 2018a).

4.2.1 Modelos de maturidade de capacidades em gerenciamento de risco

Segundo Paulk (2009), o *Capability Maturity Model* (CMM) é um modelo bem estabelecido de melhoria de processos de engenharia de software desenvolvido pelo *Software Engineering Institute* (SEI) nos anos 1980. O modelo foi criado com o objetivo de melhorar os processos de desenvolvimento de software das organizações, ao medir a capacidade organizacional de fornecedores do governo federal americano.

O CMM foi substituído pelo CMMI (*Capability Maturity Model Integration*), para integrar o desenvolvimento de produtos e serviços desde a concepção do ciclo de vida até a entrega e manutenção com as melhores práticas de engenharia de sistemas (GENARO, 2014), inspirando a aplicação para outras áreas.

Tabela 4.1 - Definições de termos do processo de tratamento de riscos.

ISO / ABNT (ABNT NBR, 2009)	SRA (SRA, 2018a)
<p><i>Risk analysis</i> / Análise de risco</p> <p>Processo de compreender a natureza do risco e determinar o nível do risco.</p>	<p><i>Risk analysis</i> (análise de risco)</p> <p>(<i>Risk assessment</i>) Processo sistemático para compreender a natureza do risco e expressar o risco, com o conhecimento disponível.</p> <p>A análise de risco é muitas vezes entendida de uma maneira mais ampla, em particular na comunidade da <i>Society for Risk Analysis (SRA)</i>: a análise de risco é definida para incluir avaliação de risco (<i>risk assessment</i>), caracterização de risco (<i>risk characterization</i>), comunicação de risco (<i>risk communication</i>), gestão de risco (<i>risk management</i>) e política relacionada a risco, no contexto de riscos que preocupam os indivíduos, as organizações dos setores público e privado e a sociedade em nível local, regional, nacional ou global.</p>
<p><i>Risk assessment</i> / Processo de avaliação de risco</p> <p>Processo global de identificação de riscos, análise de riscos avaliação de riscos.</p>	<p><i>Risk assessment</i> (processo de avaliação de risco)</p> <p>Processo sistemático para compreender a natureza do risco e expressar o risco, com o conhecimento disponível.</p>
<p><i>Risk evaluation</i> / Avaliação de risco</p> <p>Processo de comparar os resultados da análise de riscos com os critérios de risco para determinar se o risco e/ou sua magnitude é aceitável ou tolerável.</p>	<p><i>Risk evaluation</i> (avaliação de risco)</p> <p>Processo de comparação do resultado da análise de risco contra os critérios de risco (e muitas vezes benéfico) para determinar a significância e aceitabilidade do risco.</p>
<p><i>Risk management</i> / Gestão de risco</p> <p>Atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização no que se refere a riscos.</p>	<p><i>Risk management</i> (gestão de risco)</p> <p>Atividades para lidar com riscos, como prevenção, mitigação, adaptação ou compartilhamento Muitas vezes inclui <i>trade-offs</i> entre custos e benefícios de redução de risco e escolha de um nível de risco tolerável.</p>

Fonte: Produção do autor.

O conceito de modelo de maturidade de capacidades tem sido aplicado para diferentes aspectos organizacionais, recursos humanos, projetos e desenvolvimento de produtos como parte de abordagens de melhoria contínua. As organizações que buscam implementar uma abordagem formal de gerenciamento de risco ou melhorar as abordagens existentes necessitam um

melhor contexto operacional para tratar os riscos e uma forma de representar a maturidade das capacidades da organização quanto às práticas de gerenciamento do conhecimento e melhoria contínua, assim, modelos de maturidade de capacidades específicos, de gerenciamento de risco, foram criados (YEO; REN, 2009).

O *Risk Maturity Model* (RMM) proposto por Hillson (1997) é reconhecido como o primeiro modelo de maturidade de capacidades específico de gerenciamento de risco para servir como referência (*benchmark*) na formalização de abordagens de gerenciamento de risco de organizações e sua melhoria. Conforme apresentado na Tabela 4.2, o modelo proposto por Hillson (1997) possui quatro níveis de maturidade (i.e., *Naive, Novice, Normalized, Natural*) que são mensurados em termos de quatro atributos (i.e., cultural, processo, experiência e aplicação), inspirado no modelo CMM e *European Foundation for Quality Management* (EFQM) e aplicável em todos os tipos de organizações em qualquer setor industrial. O autor reconhece que algumas organizações podem não ser enquadradas perfeitamente nestas categorias, entretanto, os níveis propostos têm diferenças suficientes para acomodar a maioria das organizações de forma não ambígua.

Em um programa de colaboração entre o INCOSE, PMI e APM (UK) (INCOSE; PMI; APM (UK), 2002), foi desenvolvido um modelo informal genérico de maturidade de gerenciamento de riscos, denominado *Risk Management Maturity Model* (RMMM), baseado no modelo RMM de Hillson (1997), com o propósito de disponibilizar um modelo para projetos e organizações avaliarem o seu nível de maturidade de capacidades, e identificar objetivos realistas para melhoria e produção de planos de ação para aprimorar a maturidade do gerenciamento de risco. O RMMM possui quatro níveis de maturidade (i.e., *Ad Hoc, Initial, Repeatable e Managed*) utilizando os mesmos atributos para avaliação de maturidade que o modelo RMM (Tabela 4.2) com pequenas variações e complementações das características que definem cada nível de maturidade.

Tabela 4.2 - Modelo de maturidade de capacidades de gerenciamento de risco RMM.

Níveis	Nível 1 - Ingênuo	Nível 2 - Principiante	Nível 3 - Normalizado	Nível 4 - Natural
Definição	Inconsciente da necessidade de gerenciamento de riscos; Nenhuma abordagem estruturada para lidar com incertezas; Processo de gerenciamento repetitivo e reativo; Pequeno ou nenhuma tentativa de aprender com o passado ou preparar-se para o futuro.	Experimentação com gerenciamento de riscos, no entanto, poucas pessoas envolvidas; Nenhuma abordagem genérica e estruturada disponibilizada; Há consciência dos potenciais benefícios no gerenciamento de riscos, mas há implementação ineficiente, não gerando completamente os benefícios.	Gerenciamento de risco construído nos processos de rotina da organização; Gerenciamento de risco implementado em quase todos os projetos; Processos genéricos de risco formalizados; Benefícios entendidos em todos os níveis da organização, entretanto, nem sempre consistentemente atingidos.	Cultura de consciência de risco, com abordagem proativa ao gerenciamento de riscos em todos os aspectos da organização; Uso ativo de informações de risco para melhorar os processos da organização e ganhar vantagem competitiva; Ênfase em gerenciamento de oportunidades ("riscos positivos").
Cultura	Nenhuma preocupação com riscos; Resistência / relutância para mudanças; Tendência de continuar com os processos existentes.	Processos de risco podem ser visto como sobrecarga adicional com variáveis benefícios; Gerenciamento de riscos somente utilizado em projetos selecionados.	Aceitação da política de gerenciamento de riscos; Benefícios reconhecidos e esperados; Preparado para comprometer recursos a fim de colher ganhos.	Comprometimento <i>top-down</i> com o gerenciamento de riscos, com exemplo de liderança; Gerenciamento de riscos proativo incentivado e recompensado.
Processos	Nenhum processo formal.	Nenhum processo genérico formal, embora existam alguns métodos formais específicos em utilização; A efetividade dos processos depende diretamente das habilidades do time de risco interno e disponibilidade de suporte externo.	Processos genéricos aplicados a maioria dos projetos; Processos formais, incorporados ao sistema de qualidade; Alocação ativa e gerenciamento de riscos orçamentários em todos os níveis; Necessidade limitada para suporte externo.	Processos da organização baseados em risco; "Gerenciamento de Risco Total" permeado em toda a organização; Renovação e atualização de processos regularmente; Rotina acompanhamento de métricas de risco com feedback constante para melhorias.
Experiência	Nenhum entendimento dos princípios de risco ou linguagem.	Limitada ao indivíduo que pode ter obtido pequeno ou nenhum treinamento formal.	Núcleo interno de especialização, formalmente treinados em habilidades básicas; Desenvolvimento de processos específicos e ferramentas.	Todos os colaboradores têm consciência ao risco e na utilização habilidades básicas; Aprendizagem com experiência como parte do processo. Treinamento externo regular para melhoria de habilidades.
Aplicação	Nenhuma aplicação estruturada; Nenhum recurso dedicado; Nenhuma ferramenta de risco.	Aplicação inconsistente; Disponibilidade variável de pessoal; Coleção ad hoc de ferramentas e métodos.	Aplicação rotineira e consistente em todos os projetos; Recursos comprometidos; Conjunto integrado de ferramentas e métodos.	Naturalidade (" <i>second-nature</i> "), com aplicação em todas as atividades; Comunicação e tomadas de decisão baseadas em risco; Ferramentas e métodos do estado-da-arte.

Fonte: Adaptada de Hillson (1997) (tradução nossa).

Outros modelos são apresentados na literatura, para organizações ou indústrias específicas. Como, por exemplo, Irizar e Wynn (2018) propõem um modelo de maturidade para avaliação de capacidade de gerenciamento de risco especificamente para a indústria automotiva que é estruturado em quatro dimensões do gerenciamento de risco (i.e., *identification, assessment, allocation and appetite*) e possui quatro estágios de maturidade (i.e., *rudimentary, intermediate, standardized e corporate*); Oliva (2016) propõe um modelo de maturidade para empresas ligadas à cadeia de mantimentos utilizando os pilares teóricos do gerenciamento de riscos corporativos (*Enterprise Risk Management - ERM*); e Salawu e Abdullah (2015) apresentam uma abordagem para definir o nível de maturidade de gerenciamento de riscos de contratados da indústria de construção de infraestruturas.

Do interesse principal para este trabalho, a abordagem multinível do Modelo de Avaliação da Capacidade de Maturidade do Gerenciamento de Risco para sistemas de produtos complexos (*Risk Management Capability Maturity Model for Complex Product Systems - CoPS-RM-CMM*), é proposta por Ren e Yeo (2004) e com maior detalhamento em Yeo e Ren (2009).

CoPS (*Complex Products and Systems* (HOBDA, 1998)) é uma classe especial de projetos que geram produtos ou sistemas de alto valor, intensivos em tecnologia e em engenharia, tipicamente encontrados na área aeroespacial e de defesa (YEO; REN, 2009), exigindo a criação de novas formas de tratamento organizacional de acordo com os desafios impostos por esse tipo de sistema.

Os problemas particulares no desenvolvimento de CoPS e os desafios de complexidade em atividades de projeto e relações humanas e organizacionais, segundo Yeo e Ren (2009) são:

- a) falta de um claro e profundo entendimento da natureza do risco em CoPS e a inadequada classificação das áreas e eventos de risco;
- b) as abordagens de gerenciamento de risco são muito genéricas para prover a orientação explícita para implementação do gerenciamento de riscos em CoPS;

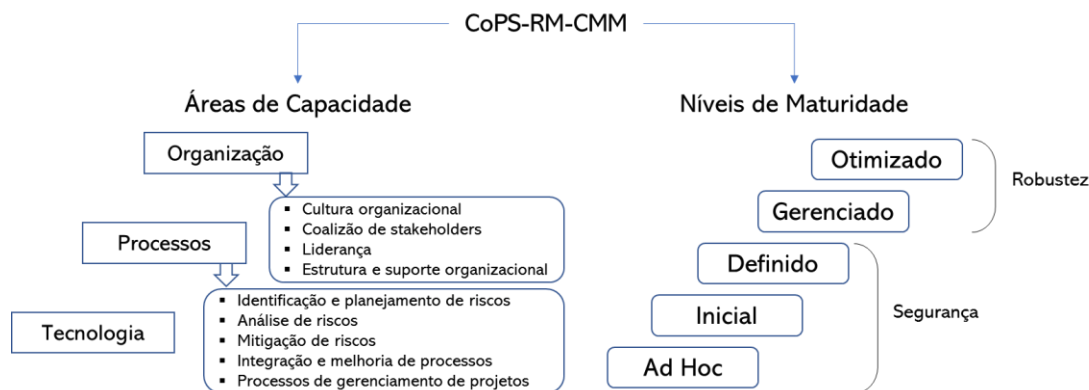
- c) teorias com base em probabilidade e ocorrências históricas, não explicam riscos emergentes não previstos;
- d) falha geral em lidar com fraquezas humanas cognitivas e psicológicas, aprendizagem organizacional e política;
- e) falta de abordagens de contingenciamento ao diferenciar a natureza e a fonte de risco para um leque de tipos de projetos;
- f) não há um tratamento sistemático quanto ao desempenho do gerenciamento de risco no projeto como uma função da maturidade de capacidade da organização.

Segundo Yeo e Ren (2009), o modelo CoPS-RM-CMM foi desenvolvido para evidenciar os aspectos e características singulares de CoPS, onde as relações entre os indivíduos e as atividades a serem executadas são consideradas fontes principais de riscos, pela inerente complexidade desses sistemas.

O CoPS-RM-CMM é fundamentado nas teorias de complexidade (*science of complexity*), princípios de emergência (*sciences of emergence*) e construído na visão de gerenciamento de mudanças (*change management framework*). O modelo avalia dez áreas chaves, organizadas em três tipos de capacidades (i.e., organização, processos e tecnológico) e cinco níveis de maturidade (i.e., Ad Hoc, *Initial*, *Defined*, *Managed* e *Optimizing*), para composição do CoPS-RM-CMM conforme a arquitetura apresentada na Figura 4.2.

Os níveis de maturidade estão classificados em segurança do sistema (*system security*) e robustez organizacional (*organizational robustness*). O ganho em segurança do sistema (níveis 1 a 3) representa a maturidade quanto ao controle do processo de gerenciamento de riscos e o nível de antecipação, enquanto o ganho em robustez organizacional (níveis 4 e 5) representa o nível colaboração e implementação do gerenciamento de riscos. Uma descrição geral das características de maturidade definidas para cada nível de maturidade do CoPS-RM-CMM é apresentada na Tabela 4.3.

Figura 4.2 – Arquitetura e categorização das áreas de capacidades do CoPS-RM-CMM.



Fonte: Adaptada de Yeo e Ren (2009).

Tabela 4.3 - Descrição geral dos níveis de maturidade do CoPS-RM-CMM.

Nível de Maturidade	Descrição
Nível 1 Ad Hoc	A organização desconhece a necessidade de gerenciamento de riscos e não possui abordagem estruturada para lidar com riscos. Nenhum esforço é realizado para identificar riscos de projetos ou planos de mitigação. O gerenciamento adota uma mentalidade mecanicista e reativa após a ocorrência de problemas. A organização de projeto possivelmente conduz projetos em uma estrutura matricial funcional ou relaxada. Existem poucos mecanismos para lidar com eventos inesperados. A organização é fraca mesmo em sistemas básicos de abordagem no gerenciamento de projetos.
Nível 2 Inicial	Algumas atividades básicas de gerenciamento de riscos são realizadas nos processos de gerenciamento de projeto. Existem sistemas de gerenciamento de riscos rudimentares. Apesar de a organização possuir conhecimento dos benefícios potenciais de gerenciamento de risco, ainda faltam esforços sérios para implementar um processo organizacional abrangente de gerenciamento de riscos.
Nível 3 Definido	A organização desenvolveu e implementou um processo formal de gerenciamento de riscos no seu processo corporativo de negócio, especialmente quando lida com projetos CoPS. Políticas e procedimentos genéricos de gerenciamento de risco são formalizados e implementados amplamente na organização. Os benefícios são entendidos usualmente nos maiores níveis da organização. Em projetos CoPS um processo de gerenciamento de risco sistemático é definido, os elementos que compõe o risco são medidos/descritos. Gerentes de projetos lidam com riscos conhecidos ou previsíveis. Um programa de treinamento abrangente é implementado para garantir que os colaboradores e gerentes tenham conhecimento e habilidades requeridas para desenvolver suas atividades. A estrutura de projeto é apropriada para adotar uma matriz de projeto balanceada com ênfase no gerenciamento de projeto. Este nível demarca a transição de maturidade entre segurança e robustez.

continua

Tabela 4.3 – Conclusão.

Nível de Maturidade	Descrição
Nível 4 Gerenciado	<p>Processos de aferição de metas são estabelecidos para cada processo de gerenciamento de risco (identificação, avaliação e resposta). Medições/descrições detalhadas dos elementos do risco são geradas. Medidas detalhadas de diferentes estratégias de respostas ao risco são desenvolvidas e documentadas e resultados e desempenho da mitigação de riscos são medidos. Atividades de gerenciamento de risco são estendidas para incluir stakeholders chaves do projeto, ambos internos e externos. Contratantes e fornecedores chaves, clientes e gestão corporativa interna são envolvidos intensivamente no processo de gerenciamento de riscos. Robustez introduzida propositalmente na estrutura e processos do projeto através de estratégias organizacionais. A organização estabeleceu uma mentalidade de preocupação com o risco que requer uma abordagem proativa do gerenciamento de riscos. A organização de projeto é provável de implementar uma matriz forte.</p>
Nível 5 Otimizado	<p>A organização estabeleceu um abrangente plano de gerenciamento de riscos com metas definidas. Processos de inovação contínuo e melhorias para atingir maiores níveis de desempenho do gerenciamento de riscos se tornaram mandatórios e usual. Um alto nível de robustez é absorvido no comportamento e atitude (cultural) organizacional, organização de projeto adaptativa, fortalecimento da equipe, e auto-organização guiados por protocolos corporativos para reduzir riscos sistemáticos e lidar com riscos emergentes imprevistos. Rede de colaboração societária, estratégias diversificadas institucionais e parcerias com stakeholders e entidades do governo estão operando. Riscos do negócio são seriamente considerados. Membros do time do projeto são sensíveis aos riscos e oportunidades, e a necessidade de comunicação livre e criar um ambiente colaborativo de trabalho. A estrutura de projeto é altamente flexível e responsiva a mudanças nos requisitos do contratante e ambiente externo. Uma cultura colaborativa existe e permite a ocorrência de situações positivas.</p>

Fonte: Adaptada de Yeo e Ren (2009) (tradução nossa).

5 INFLUÊNCIA DA PSICOLOGIA E FATORES SOCIOCULTURAIS EM TOMADAS DE DECISÃO E ANÁLISE DE RISCOS

Segundo Gigerenzer (2011), o entendimento de como as pessoas tomam decisões, ramo descritivo da teoria de decisão, faz parte da complexa compreensão de como a mente humana funciona. Tomada de decisão é um processo natural, multidisciplinar (SLOVIC; FISCHHOFF; LICHTENSTEIN, 1977) e possivelmente relacionado com aspectos evolutivos (RENN, 2008c).

Pesquisas das áreas de psicologia e de ciências sociais oferecem explicações para os julgamentos e estratégias de comunicação de riscos e tomadas de decisão sob incerteza, além de suas implicações práticas para melhoria de políticas (e.g., de gerenciamento) e governança de riscos nas mais diversas atividades humanas e organizações.

As perspectivas das ciências sociais sobre risco, apresentam formas alternativas de expressar riscos e incertezas (RENN, 1990a), expandem o entendimento da realidade humana percebida e ajudam a explicar como indivíduos e sociedades constroem sua visão sobre realidades indesejadas (ROHRMANN; RENN, 2000). Freudenburg (1988) defende o uso de teorias das ciências sociais para a melhoria de estimativas de consequências e probabilidades de riscos e também na identificação de potenciais vieses criados ao longo de processos de avaliação de riscos. Aven (2018d) e também Krewski et al. (1987) afirmam que as pesquisas de percepção de risco e comportamento ao risco em tomadas de decisão (*behavioural decision-making*) tem o potencial de melhorar as práticas de avaliação e gerenciamento de riscos.

Entretanto, Slovic et al. (1980) apontam os desafios de autorreconhecimento de limitações cognitivas e da compreensão da importância de se considerar aspectos qualitativos do risco nos processos de gerenciamento e tomadas de decisão, principalmente em áreas técnicas. Goerlandt e Montewka (2014) afirmam que diversos modelos de avaliação de risco não consideram os aspectos de atitude e comportamento dos avaliadores de risco, tornando as avaliações limitadas. Siefert (2007) afirma que muitas práticas e políticas de análise de risco são menos efetivas devido a resistência de engenheiros e

gerentes de projetos quanto ao reconhecimento da necessidade de tratamento de vieses. Enquanto os engenheiros não querem admitir que existem riscos associados aos seus projetos e sentem estar no controle de eventos com o uso de modelos e técnicas quantitativas, muitos gerentes de projetos não querem apresentar aspectos negativos de seus projetos para hierarquias superiores ou clientes.

Os aspectos psicológicos e socioculturais de risco tem sido sistematicamente estudados desde os anos 1950 com a chamada “revolução cognitiva” (GIGERENZER, 1991), quando pesquisas envolvendo a psicologia e aspectos sociais de tomada de decisões apontaram falhas no modelo racionalista (i.e., corrente filosófica de origem na área de Economia e dominante por mais de 200 anos) e novas teorias explicativas do comportamento humano foram propostas, incluindo as influências de naturezas psicológicas, cognitivas, culturais e sociais.

Neste contexto, Herbert Simon, reconhecido como precursor neste movimento, desenvolveu teorias sobre as estratégias cognitivas adaptáveis, chamadas de heurísticas (NETH; GIGERENZER, 2015), como forma de explicação do comportamento humano em tomadas de decisões sob incerteza (GIGERENZER; HERTWIG; PACHUR, 2011).

As pesquisas apontaram que, em alguns casos, os mecanismos cognitivos induziam a erros lógicos e sistemáticos, produzindo distorções nas decisões comparativamente aos modelos racionalistas, denominados de vieses (KAHNEMAN, 2003a). Atualmente existem duas grandes vertentes de pesquisa nesta área, o programa de heurísticas e vieses (*heuristics and biases program* (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974)) e o programa de heurísticas rápidas e frugais (*fast and frugal heuristics* (MOUSAVI; GIGERENZER, 2017)) que serão introduzidos na Seção 5.1.1.

Existem diferentes modelos de comportamento ao risco na literatura, entretanto, segundo Trimpop (1994) não é possível descrever o conceito com precisão sem considerar os fatores individuais, situacionais, fisiológicos, emocionais e cognitivos. Segundo Maccrimmon (1968) e Slovic et al. (1984), a análise sobre como indivíduos tomam decisões através da descrição de comportamentos

observados (i.e., ramo descritivo da teoria de decisão) é a essência da área de Ciência Comportamental de Decisões (*Behavioral Decision Sciences* (SLOVIC; FISCHHOFF; LICHTENSTEIN, 1977)). Segundo Trimpop (1994), correr risco (*risk taking*) é uma ação essencial da evolução humana, que provavelmente possui uma predisposição fisiológica e genética, tornando-se um mecanismo de recompensa.

Alguns pesquisadores acreditam que o aspecto fisiológico é manifestado através da “personalidade” relacionada ao risco, como uma predisposição, que é denominada de atitude ao risco. Entretanto, outros pesquisadores defendem que a atitude ao risco é dependente de fatores situacionais. Portanto, não há um consenso sobre a natureza desse aspecto na literatura. O comportamento ao risco (ação ou decisão) de um indivíduo diante de determinada situação sob risco é formado por uma complexa combinação da atitude ao risco, percepção do risco (i.e., a formação de “opinião” sobre o risco em nível mental), variáveis situacionais e emocionais.

A fundamentação teórica sobre as teorias de psicologia do risco e das ciências sociais sobre tomadas de decisão é apresentada neste capítulo e está dividida em dois tópicos principais: um deles relacionado à percepção de risco e outro ao comportamento e atitude ao risco, conceitos que possuem diferentes e, em alguns casos, definições conflitantes, mas importantes aspectos a serem tratados na disciplina de Análise de Riscos.

5.1 Percepção de risco

Segundo Renn (2008c), o comportamento humano é primariamente guiado por percepção e não por fatos (dados). As pesquisas em psicologia cognitiva defendem que a percepção é formada por raciocínio de senso-comum, experiência pessoal, comunicação social e tradições culturais (JOHNSON; SWEDLOW, 2021). Pesquisas comprovaram que humanos relacionam certas expectativas, ideias, esperanças, medos e emoções com atividades ou eventos que possuem consequências incertas.

Entretanto, as pessoas não usam estratégias completamente irracionais para avaliar informações, mas, a maior parte do tempo, seguem padrões consistentes de criação e avaliação de imagens de risco (percepção), que estão relacionados com as bases evolutivas para lidar com situações de perigo (RENN, 2008c).

Os humanos recebem e processam estímulos físicos (sensoriais), assim como informações de possíveis resultados de uma ação futura humana ou de eventos naturais e, combinando com as suas próprias experiências e crenças, formam opiniões sobre o risco, sua fonte (causas) e seus impactos (ROHRMANN, 2008). Isso explica porque os riscos são percebidos de forma diferente entre os indivíduos (MOEN, 2004). A percepção de risco, como parte da formação de opiniões, refere-se ao julgamento e avaliações que as pessoas fazem sobre os riscos que elas próprias, seus bens, ou o ambiente estão ou poderão estar expostos (ROHRMANN; RENN, 2000) e, com base nestes julgamentos, tomam decisões (MAGESSI; ANTUNES, 2013).

A percepção de risco pode ser entendida como a interpretação de cada indivíduo sobre o mundo, com base nas experiências e crenças individuais que estão relacionadas à normas, valores e questões culturais da sociedade. De forma literal, não é possível "perceber" riscos, como uma sensação (e.g., velocidade ou temperatura), mas foi o termo padrão adotado nas pesquisas da área (ROHRMANN, 2008).

Segundo Rohrmann (2008) e Slovic (2010b), há um conflito entre a conceituação de risco entre as ciências naturais e ciências sociais. O primeiro assume que eventos são produzidos por processos físicos e naturais, de forma que podem ser objetivamente quantificados com o conceito de "riscos reais" (i.e., realidade ontológica). Enquanto o segundo, considera que risco não existe independentemente da mente e cultura humana (i.e., são inerentemente subjetivos) e sua formação se dá através da percepção de risco.

Na visão das ciências sociais, mesmo que perigos sejam reais, não existe "risco real" ou "risco objetivo". Por exemplo, no caso de estimativas de risco probabilísticas, os riscos são baseados em modelos teóricos cuja estrutura é subjetiva e sujeito a premissas (*assumption-laden*) e os parâmetros de entrada

são dependentes de julgamento (SLOVIC, 2010b). Entretanto, Rohrman (2008) defende que, epistemologicamente, esse conflito não faz sentido, dado que todas as estimativas sobre risco, sejam elas opiniões ou informações quantitativas baseadas no tratamento de dados, são apenas representações da realidade.

Visschers e Siegrist (2018) destacam duas importantes linhas de pesquisa de percepção de risco. A primeira, com foco nos paradigmas psicométricos, estuda as variações entre a percepção de diferentes riscos, através das características qualitativas dos riscos. A segunda tem foco nos fatores que determinam a percepção de risco de um indivíduo, como benefícios percebidos, confiança, conhecimento, associações afetivas, valores e sentimento de justiça.

Os principais conceitos e trabalhos realizados nas duas linhas de pesquisa de percepção de risco são apresentados no Apêndice C, assim como os diferentes modelos e medidas de percepção de risco encontrados na revisão da literatura.

Destaca-se o modelo de contextos de influências de percepção de risco desenvolvido por Renn e Rohrman (2000), inspirado no modelo de Breakwell (1994), que apresenta a formação da percepção de risco a partir de diferentes níveis de influência dependentes entre si, constituindo uma rede de interrelações que desafiam a redução do modelo de percepção de risco a um conjunto único de variáveis. A Figura 5.1 apresenta o modelo proposto por Renn e Rohrman (2000), também apresentado em Renn (2008c) e Renn (2018), o que confirma a atualidade do modelo quanto representação conceitual.

O modelo tem quatro níveis de contexto, onde cada nível apresenta subestruturas de influências coletivas (lado esquerdo) e individuais (lado direito). O quarto nível (mais baixo hierarquicamente) representa as heurísticas individuais e coletivas utilizadas para formar julgamento sobre os riscos. O terceiro nível refere-se aos fatores cognitivos e afetivos que influenciam o processo de percepção. O segundo nível refere-se ao panorama social e político no qual indivíduos e grupos atuam, considerando fatores como confiança em instituições, valores de comprometimento pessoal e social, restrições organizacionais, estruturas sociais e políticas e as condições socioeconômicas

de cada indivíduo. O primeiro nível refere-se aos fatores culturais que governam ou determinam os demais contextos de influência, incluindo, por exemplo, a confiança nas organizações (RENN; ROHRMANN, 2000).

Figura 5.1 - Modelo dos contextos de influência na formação da percepção de risco.



Fonte: Adaptada de Renn e Rohrman (2000) e Renn (2008c ; 2018).

Segundo Magessi e Antunes (2013) e Wachinger et al. (2013), a simplificação do conceito risco para uma representação apenas de probabilidade e consequências não corresponde e reflete o pensamento intuitivo de indivíduos sobre o julgamento e aceitação de riscos. Slovic (1992) afirma que para entender a percepção de risco, é necessário estudar os componentes psicológicos, sociais e culturais e também suas interações em uma abordagem integrativa. Entretanto, Slovic (1992) e Magessi e Antunes (2013) concluem que não há uma teoria integrativa de percepção de risco na literatura, mas modelos com base em múltiplos estudos de diferentes áreas, que tipicamente carecem de considerar os aspectos físicos do cérebro humano como memória e sistema límbico.

Kasperson et al. (2022) afirma que, apesar das perspectivas de ciências sociais serem amplamente reconhecidas, a análise técnica de riscos é dominante e há uma desvalorização das influências sociais, políticas e culturais na caracterização e gerenciamento de riscos.

5.1.1 Heurísticas

Esta Seção apresenta os conceitos e vertentes de pesquisas sobre heurísticas, modos cognitivos e vieses, que formam a base para o entendimento da percepção de risco, conforme modelo da Figura 5.1.

O termo heurística tem origem Grega com significado "servir para descobrir" ou simplesmente "descobrir" (GIGERENZER; HERTWIG; PACHUR, 2011). Segundo Baron (2006) e Raue e Scholl (2018), no conceito moderno, o uso de heurística ou método heurístico tem o objetivo de descobrir como solucionar um problema presente, algumas vezes, sem a integração de todas as informações disponíveis.

Segundo Gigerenzer (1991), a definição de heurística adotada na área de psicologia é uma abordagem mental para solucionar um problema ou tomada de decisão com o objetivo de facilitar a carga cognitiva através da implementação de um método, que segue regras aprendidas e não garantidamente otimizadas ou racionais, mas suficientes para chegar em uma conclusão.

Raue e Scholl (2018) afirmam que as simplificações no processamento de informações ocorrem especialmente em situações complexas, sob pressão de tempo e estão relacionadas com a capacidade cognitiva de um indivíduo. As simplificações evitam sobreposições de informações através de um processo inconsciente e automático de filtragem, que podem levar o indivíduo a ignorar informações úteis ou relevantes (CAPUTO, 2013).

Nos primórdios do desenvolvimento de inteligência artificial (AI) dos anos 1950, Herbert Simon (SIMON, 1955) formulou os primeiros modelos de heurísticas com base nas limitações da racionalidade humana e influências do ambiente. Herbert Simon entendia a resolução de problemas como "uma busca pelo vasto leque de possibilidades que descrevem o ambiente". Entretanto, Simon admite que a racionalidade humana é limitada (*bounded rationality*) para entender e absorver todas as possibilidades que o ambiente pode desenvolver. Portanto, a infinidade de possibilidades faz com que o procedimento subconsciente humano de reconhecimento de padrões (*subconscious pattern recognition*) seja mais importante para tomadas de decisão do que o conceito de racionalidade baseado

na maximização. Consequentemente, as decisões realizadas por humanos buscam mais a satisfação (*satisficing*) do que a maximização de utilidade esperada (*subjective expected utility* - SEU), com base em um nível de aspiração (*aspiration level*) (FRANTZ, 2003).

Com a proposta de racionalidade limitada e satisfação, Herbert Simon desafiou a definição de racionalidade da ortodoxia econômica, que até então era amplamente utilizada e dominante como teoria normativa de tomadas de decisões (GIGERENZER; HERTWIG; PACHUR, 2011).

Nos anos 1970s, Amos Tversky e Daniel Kahneman propuseram uma abordagem relacionando heurísticas e vieses cognitivos, denominado *heuristics and biases program* (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974), utilizando a teoria de racionalidade limitada. Os resultados de experimentos sobre tomadas de decisão demonstraram que julgamentos intuitivos, em alguns casos, resultavam em escolhas distorcidas com referência as leis da lógica, probabilidade ou algum outro padrão de racionalidade e não eram somente uma simplificação do julgamento racional.

Segundo Gigerenzer (2011), o termo heurística adquiriu a conotação de explicação para os erros de julgamento humanos e, portanto, algo a ser evitado. Essa mudança de perspectiva gerou o entendimento que a disponibilidade de mais informações, mais operações computacionais e mais tempo são sempre melhores para encontrar soluções. Entretanto, Gerd Gigerenzer e outros pesquisadores obtiveram resultados que contrariam essa ideia, definindo o efeito *less-is-more effect*, demonstrando que, em alguns contextos específicos, os resultados gerados por heurísticas eram suficientes (RAUE; SCHOLL, 2018).

Esta linha de pesquisa utiliza as ideias originais de Herbert Simon e ficou conhecida como *simple heuristics* ou *fast-and-frugal heuristics* (MOUSAVI; GIGERENZER, 2017), onde modelos formais foram propostos para as heurísticas (*adaptive toolbox*) que permitem predições de comportamento dependendo de condições do ambiente (*ecological rationality*). A teoria *fast-and-frugal heuristics* defende que a racionalidade de uma ação não depende somente

de critérios internos do indivíduo (cognitivos) mas também da estrutura do ambiente, conforme proposto por Herbert Simon.

Segundo Raue e Scholl (2018), o programa de heurísticas e vieses tornou-se bastante disseminado nas mais diversas áreas e meios científicos, enquanto o programa de *fast and frugal heuristics* é menos conhecido fora do meio acadêmico e científico, mas tem ganhado reconhecimento, principalmente, para tomadas de decisão utilizando a abordagem de árvores de decisão (i.e., *Fast and frugal tree* (GADZINSKI; CASTELLO, 2020)). Entretanto, críticas e argumentos de defesa sobre as duas abordagens são recorrentes em painéis científicos, não havendo um consenso formalizado.

5.1.2 Programa de heurísticas e vieses

O programa de heurísticas e vieses assume que erros sistemáticos e persistentes (denominados vieses) podem ocorrer a partir de falhas na arquitetura de cognição humana e são justificadas pelas características dos processos heurísticos (KAHNEMAN; FREDERICK, 2002). Segundo Rohrmann e Renn (2000) a principal característica é reduzir a carga de processamento mental em julgamentos sob incerteza através da substituição de atividades difíceis e complexas por outras mais simples. Entretanto, esse processo pode resultar em escolhas que ferem os princípios da lógica e modelos de racionalidade.

Segundo Tversky e Kahneman (1974), as crenças sobre eventos incertos são ocasionalmente expressas de forma numérica, tipicamente como probabilidade. Portanto, quando as pessoas avaliam ou julgam probabilidades de um evento incerto, utilizam, naturalmente, princípios heurísticos para reduzir a complexa tarefa de atribuir e interpretar probabilidades. Neste contexto, Tversky e Kahneman definiram a heurística de representatividade (*representativeness heuristic*), heurística de disponibilidade (*availability heuristic*) e heurística ou efeito de ancoragem (*anchoring and adjustment heuristic*) derivadas de diversos experimentos e pesquisas realizadas, conforme descritas abaixo:

- a) a heurística de representatividade ocorre quando um evento ou objeto aparentemente é representativo como parte de um grupo de eventos ou

objetos, ou seja, como uma categoria mais ampla, onde suas características são julgadas como similares (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). Neste caso, a questão de probabilidade é substituída pela representatividade, no sentido de que quanto mais representativo um elemento é percebido, considerando as características de uma classe, maior é a correlação de comportamento com a classe de referência (RAUE; SCHOLL, 2018). Assim, pode-se afirmar que as pessoas tendem a procurar por traços que podem corresponder com estereótipos já conhecidos (CAPUTO, 2013) para realização de julgamentos;

- b) a heurística de disponibilidade permite a redução de complexidade em julgamentos sobre frequências ou probabilidades (TVERSKY; KAHNEMAN, 1973). Nestas situações de decisão, a questão sobre probabilidade ou frequência é substituída pela disponibilidade (RAUE; SCHOLL, 2018), isto é, o julgamento é realizado com base nas instâncias ou ocorrências que o evento é prontamente disponibilizado pela memória (CAPUTO, 2013);
- c) heurística de ancoragem e ajustes ocorre quando pessoas possuem muito pouca ou nenhuma informação e utilizam âncoras (referências) como base para seus julgamentos, as quais são recordadas em sua memória (*self-generated anchor*) ou providas na situação ou contexto (*situationally provided anchor*) (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974; RAUE; SCHOLL, 2018).

Em um trabalho posterior, Kahneman e Frederick (2002) propuseram que a operação de redução de complexidade de atividades mentais para outras mais simples é realizada por uma operação de substituição de atributos (*attribute substitution*). Neste novo entendimento, quando um indivíduo avalia um atributo específico de julgamento de um objeto, denominado de *heuristic attribute*, ele substitui o atributo sob avaliação por outra propriedade daquele objeto, que aparece mais rapidamente à mente. Segundo Kahneman (2003a), com esta teoria explicativa dos processos fundamentais de heurísticas, a restrição de

aplicação ao domínio de julgamento sob incerteza (i.e., probabilidades desconhecidas) perde validade e torna-se amplamente aplicável para qualquer tipo de julgamento.

Outra mudança proposta por Kahneman e Frederick (2002) é que a heurística de ancoragem não cabe na definição da operação de substituição de atributo, como as heurísticas de representatividade e disponibilidade. Assim, os autores sugeriram a substituição da heurística de ancoragem pela heurística do afeto (*affect heuristic*), na tentativa de formação de um conjunto geral de heurísticas com base na substituição de atributos (RAUE; SCHOLL, 2018). Kahneman (2003a) argumenta que a valência afetiva é uma avaliação natural que é considerada automaticamente e sempre acessível (e.g., "*affect pool*" (NYRE; JAATUN, 2013; HUNZIKER, 2019)), portanto, é candidata natural à substituição em qualquer tarefa que necessita de resposta de posicionamento favorável ou desfavorável.

Segundo Slovic et al. (2002), a heurística do afeto tem origem nos estudos iniciais de percepção de risco (i.e., paradigmas psicométricos) e propostas de Zajonc (1980), onde as reações das pessoas ao risco estavam vinculadas com o grau em que o perigo provocava sentimentos de pavor e quando o julgamento de risco-benefícios era negativamente correlacionado. Pesquisas como Finucane et al. (2000) e Alhakami e Slovic (1994) confirmaram experimentalmente a importância das emoções nos julgamentos para tomada de decisões e demonstraram que as emoções são mecanismos que direcionam os processos psicológicos fundamentais como atenção, memória e processamento de informações. Com a importância da heurística do afeto, Loewenstein et al. (2001) denominaram a expressão "*risk as feelings*" demonstrando a importância de se considerar aspectos emocionais (SLOVIC et al., 2004).

O programa de heurísticas e vieses está fundamentalmente embasado nos mecanismos e características do processamento mental humano (i.e., operações cognitivas), quanto às influências dos modos cognitivos de pensamento, Sistema 1 (*experimental system*) e Sistema 2 (*rational system*),

onde os julgamentos que as pessoas expressam, as ações realizadas e enganos cometidos dependem da iteração entre esses sistemas (KAHNEMAN, 2003a).

As pesquisas deste tema têm diversos desdobramentos e outros diferentes tipos de heurísticas foram propostos na literatura, mas não serão abordados neste trabalho. A natureza dos sistemas de pensamento e seus modos de funcionamento são apresentados na Seção 5.1.3 a seguir.

5.1.3 Sistemas cognitivos e a arquitetura de cognição

Segundo Kahneman (2003a), as diferenças entre os modos de pensamento (*dual-process theory* (EPSTEIN, 1994)) tem sido utilizadas na tentativa de explicar os resultados, aparentemente contraditórios, obtidos em pesquisas sobre julgamentos sob incertezas. O raciocínio (*reasoning*) e a intuição (*intuition*) são os dois principais sistemas de pensamento e decisão humanos, onde o modo analítico de raciocínio, denominado de Sistema 2 (STANOVICH; WEST, 2000), é um modo cognitivo mais lento, deliberativo, lógico, serial e necessita de esforço para sua realização. Enquanto o modo intuitivo ou experimental, denominado de Sistema 1 (STANOVICH; WEST, 2000), é espontâneo, associativo, carregado emocionalmente, sem busca consciente e computação, governado pelo hábito e de difícil controle ou modificação.

Segundo Tompkins et al. (2018) e Slovic et al. (2004) os dois modos de pensamento são interdependentes e a iteração entre eles define as ações e julgamentos humanos. Finucane et al. (2003) afirmam que há um reconhecimento de que o modo experimental e o modo analítico estão continuamente ativos e interagindo, processo que os autores denominaram de "a dança do afeto e razão". Complementarmente, Bazerman e Moore (2012a) afirmam que os erros são muito mais prováveis de ocorrência no Sistema 1 do que no Sistema 2, entretanto, quando a cognição falha, a falha ocorre nos dois sistemas.

Essa iteração é explicada por Kahneman (2003a), afirmando que os pensamentos intuitivos (Sistema 1) possuem monitoramento quanto a qualidade e comportamento de operações pelo Sistema 2, chamado *cognitive self-*

monitoring. Assume-se que os julgamentos e escolhas normalmente são intuitivos, especializados, não problemáticos e razoavelmente bem-sucedidos. Entretanto, normalmente o monitoramento pelo Sistema 2 está relaxado, o que permite que julgamentos intuitivos, algumas vezes "errados", sejam utilizados para tomada de decisão.

Essa hipótese explica a prevalência de efeitos do enquadramento¹ (*framing effects*) e outros indicadores de processamento superficiais, sugerindo que a maioria das pessoas não utilizam o raciocínio para operações comuns e que o Sistema 2 monitora julgamentos com baixa intensidade.

A percepção também é definida como um sistema cognitivo no modelo apresentado por Kahneman (2003a), e possui características operacionais similares da intuição (Sistema1), conforme representado na Figura 5.2. Entretanto, diferentemente da intuição, a percepção necessita receber e processar algum estímulo para sua ativação, portanto, é dependente de referência (*adaptation level*). Outra característica importante dos modos cognitivos é a completa supressão de ambiguidade e incerteza em julgamentos intuitivos, assim como na percepção. Enquanto dúvida e consciência de incompatibilidade é um fenômeno do Sistema 2 (KAHNEMAN, 2003a).

Pesquisas genéricas em Análise de Riscos, como Aven (2018d), e também específicas da área espacial, como Larson (2012), Emmons et al. (2018), Hihn et al. (2011), Cooper (2011) e Lengyel (2018), têm evidenciado a importância de tratamento dos aspectos de psicologia cognitiva na análise de riscos.

Aven (2018d) apresenta um processo de integração dos sistemas cognitivos (Sistema 1 e Sistema 2) para melhoria da avaliação e gerenciamento de risco na perspectiva de risco com base em incerteza e conhecimento, e defende a melhor utilização das respostas intuitivas (Sistema 1) para os processos de análise de riscos. Larson (2012) afirma que a ciência cognitiva tem tentado explicar os

¹ Kahneman (2003a) apresenta as implicações dos efeitos de enquadramento quanto a violação de invariância, como crítica sobre o realismo descritivo de modelos de escolha racional. Invariância, denominada de *extensionality* por (ARROW, 1982), é a premissa de que preferências intuitivas não são afetadas por variações na descrição de resultados de um evento. Entretanto, as pesquisas de Kahneman e outros pesquisadores mostraram que as pessoas mudam as suas preferências quando as descrições de resultados de eventos são modificadas, levando a alteração da saliência relativa de diferentes aspectos e interpretações mais restritas ("*narrow frames*") afetam as tomadas de decisão.

vieses através de modelos mecanicistas da mente, mas infelizmente o entendimento sobre o cérebro humano não suporta nada mais do que noções das funções cognitivas, conseqüentemente, não fica claro se os vieses encontradas na literatura são fenômenos distintos ou manifestações de um princípio geral de operação e organização do cérebro.

Figura 5.2 - Características dos sistemas cognitivos.

	PERCEPÇÃO	INTUIÇÃO SISTEMA 1	RACIONALIDADE SISTEMA 2
PROCESSO	Rápido, paralelo, automático, sem esforço, associativo, aprendizagem lenta, emocional		Devagar, serial, controlado, com esforço, governado por regras, flexível, neutro
CONTEÚDO	Perceptível Estímulo corrente Ligado ao estímulo	Representações conceituais, Passado, Presente e Futuro Pode ser evocado por linguagem	

Fonte: Adaptada de Kahneman (2003a).

Outros modelos de arquitetura cognitiva, derivados de pesquisas da área de ciência cognitiva, foram desenvolvidos como o ACT-R, EPIC, EMIL entre outros, (DIMOV; MAREWSKI, 2018). O impacto da arquitetura cognitiva humana é fundamental para os processos de análise de risco e o entendimento dos mecanismos mentais usados para tomadas de decisão sob incerteza. Segundo Dimov e Marewski (2018) muitas práticas correntes de análise de risco das ciências naturais ignoram os aspectos humanos e estão fundamentadas apenas nos processos analíticos.

Segundo Kahneman (2003a) e Baron (2006), autores frequentemente criticam a pesquisas de psicologia cognitiva devido ao grande número de vieses e heurísticas propostos na literatura (e.g., (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015; FLYVBJERG, 2021)), sem apresentar uma unificação de conceitos e métodos para identifica-los. Entretanto, esses autores argumentam que na teoria de psicologia intuitiva não é possível obter a precisão de modelos normativos de

escolhas, demonstrando que modelos racionalistas são irrealistas do ponto de vista psicológico.

A Seção 5.1.4 a seguir apresenta os principais resultados da revisão de literatura específica da área espacial e a importância dos vieses neste contexto.

5.1.4 Vieses e abordagens para mitigação em projetos da área espacial

Segundo Skitmore et al. (1989), as principais características que aumentam a chance de ocorrência de vieses em decisões são situações de grande complexidade, incertezas e fatores de stress (e.g., múltiplas opiniões divergentes, disponibilidade de poucos dados e informações e pressões do tempo). Essas características são plenamente compatíveis com o contexto de desenvolvimento de sistemas espaciais, principalmente na fase de concepção.

De acordo com Emmons et al. (2018), grandes projetos aeroespaciais tipicamente envolvem investimentos na ordem de dezenas de milhões ou até bilhões de dólares, são tipicamente complexos, incluem necessidades de desenvolvimento tecnológico, novos processos e fabricação customizada, gerando o ambiente perfeito para a ocorrência de vieses.

Emmons et al. (2018) aponta que a pesquisa acadêmica de mitigação de vieses em aplicações práticas é pequena, mesmo havendo largo reconhecimento de sua existência e das possíveis consequências. Entretanto, conforme apresentado pela APPEL/NASA (2018), a NASA tem realizado esforços de pesquisa para a criação de soluções e formas mais efetivas para tratar do assunto, inclusive com o tema sendo abordado em manuais (e.g.,(NASA, 2011)).

As soluções atuais incluem o treinamento, conscientização e familiarização dos colaboradores quanto a existência de vieses, além de incentivar o diálogo aberto com os especialistas sobre a teoria de vieses e heurísticas (NASA APPEL KNOWLEDGE SERVICES, 2018). Esta abordagem está alinhada com a afirmação de Renn (1990a), onde argumenta que a incorporação de abordagens relacionadas à percepção de risco no processo de tomada de decisão pode ser

frustrante e contra produtivo se os vieses e problemas da percepção intuitiva forem ignorados ou minimizados no contexto de aplicação.

Entretanto, Kahneman e Tversky (1977) demonstraram que a tendência a vieses permanece ativa ou não produz uma percepção mais precisa da realidade, mesmo quando o indivíduo toma consciência da natureza e existência de vieses em seu julgamento. Conclusões semelhantes foram realizadas em outros trabalhos como Flyvbjerg (2008). Portanto, somente a consciência da existência de vieses não soluciona completamente o problema.

Emmons (2017), também publicado em Emmons et al. (2018), demonstrou a influência específica dos vieses na análise de riscos, através de testes de hipóteses utilizando 567 riscos, extraídos de 28 missões realizadas pela NASA com diferentes complexidades e tamanhos, envolvendo custos de desenvolvimento entre \$80M e \$1.7B, e concluídos entre 1997 e 2013. O Apêndice D apresenta em maiores detalhes a abordagem, definições e resultados obtidos nesta pesquisa.

Emmons (2017) demonstrou que os vieses de otimismo (*optimism bias*), falácia do planejamento com visão interna (*planning fallacy with inside view*), efeito da ancoragem (*anchoring bias*) e efeitos de ambiguidade (*ambiguity effect*) são fortes influenciadores na identificação e avaliação de riscos em projetos do setor aeroespacial. A definição simplificada desses vieses é apresentada na Tabela 5.1, enquanto uma revisão detalhada é apresentada no Apêndice E.

Outros trabalhos acadêmicos da área espacial, como Kattakuri (2019), Kattakuri e Panchal (2019), Lengyel (2018), Larson (2012), Evans (2016), Shore (2008) e Dillon et al. (2014) apontam a existência de diferentes vieses, incluindo os vieses investigados por Emmons (2017), como causas de falhas ou acidentes ocorridos na área espacial e defendem a importância do tratamento desse assunto durante o desenvolvimento de projetos. Algumas contribuições importantes apontadas por esses autores que complementam a revisão de literatura neste tópico são apresentadas no Apêndice F.

Tabela 5.1 - Definição dos vieses de otimismo, falácia do planejamento com visão interna, efeito da ancoragem e efeito da ambiguidade.

O **viés de otimismo** ocorre quando há a tendência de ser sobre otimista com os resultados de decisões ou a tendência de não identificar ou parcialmente identificar o potencial negativo de alternativas (EMMONS, 2017).

O **viés de falácia do planejamento** foi apresentado em (KAHNEMAN; TVERSKY, 1977) e corre quando indivíduos estão inclinados a subavaliar custos, cronogramas e riscos, enquanto superestimam seus benefícios durante planejamentos, tomadas de decisão e projeções, mesmo que atividades ou projetos similares tenham tipicamente falhados em suas estimativas.

O **viés da ancoragem** é a predisposição comum de confiar plenamente em informações, resultados ou experiências iniciais ao realizar julgamentos e decisões (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). O valor inicial (*starting point*) ou âncora (*anchor*) pode ser sugerido na formulação do problema a ser resolvido ou resultado de uma busca na memória de um indivíduo.

O **efeito da ambiguidade**, também denominado de aversão à ambiguidade (*ambiguity aversion*) ou paradoxo de Ellsberg (*Ellsberg's paradox* (EINHORN; HOGARTH, 1986; MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015)) é um viés cognitivo profundamente enraizado e universal (CAMERER; WEBER, 1992; KEREN; GERRITSEN, 1999) que ocorre quando julgamentos são afetados pela falta de informação e conseqüente ocorrência de ambiguidades (EMMONS, 2017).

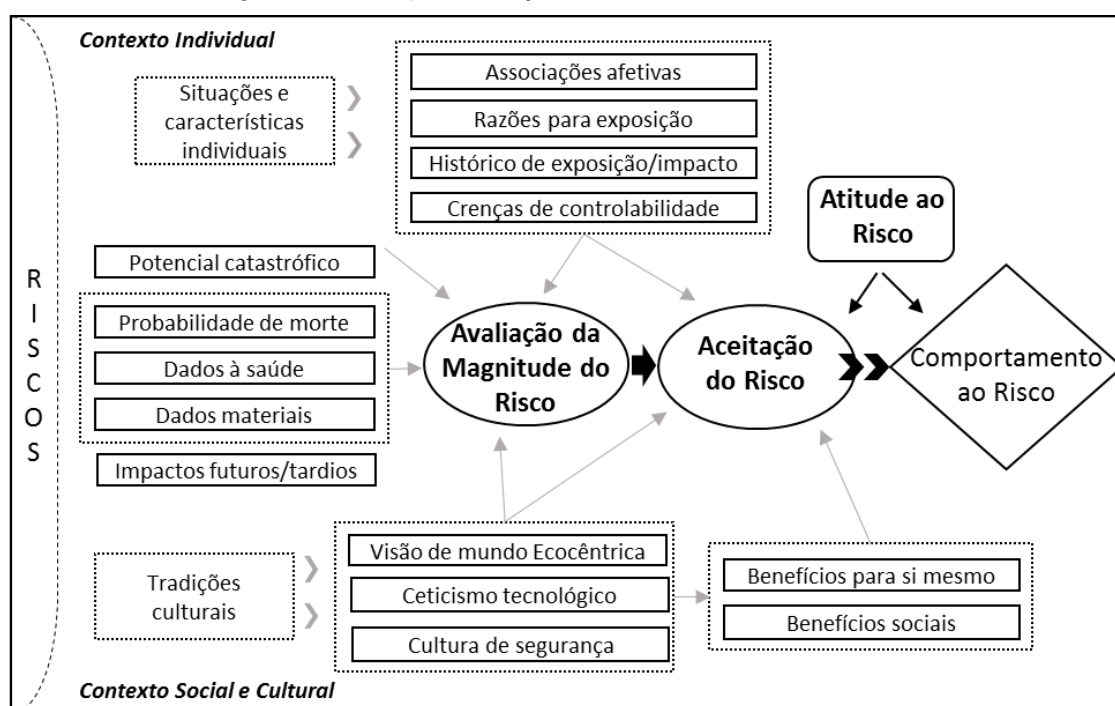
Fonte: Produção do autor.

5.2 Atitude e comportamento ao risco

Os aspectos de atitude e comportamento ao risco desafiam o gerenciamento de riscos na maioria das organizações por sua complexa e, possivelmente, instável estrutura de formação, influenciada por múltiplos fatores (HILLSON, 2017). Segundo Mata et al. (2018), mesmo com o grande volume de pesquisas sobre a natureza, conceitos e formas de medida de comportamento e atitude ao risco o assunto, não há uniformidade quanto à definição de conceitos (i.e., terminologia, ver (ROHRMANN, 1998; HILLSON, 2012)) e sobre questões fundamentais. Rohrmann (2008) aponta a questão central e inconclusiva sobre atitude ao risco em três aspectos. Primeiro, quanto a natureza de atitude ao risco como um traço (característica) ou um estado de um indivíduo; segundo, com relação a dimensionalidade de atitude ao risco como uma variável singular ou multi-fatores; e terceiro, quanto aplicabilidade conceitual da atitude ao risco como um parâmetro general ou de domínio específico.

A Figura 5.3 apresenta o modelo conceitual desenvolvido por Rohrmann (2008), representando a avaliação subjetiva de risco (*Subjective Evaluation of Risk - SER*) em uma estrutura multi-fatores de causalidade na forma de um diagrama de influência. O modelo SER foi originalmente apresentado em Rohrmann (1998) como uma proposta de uniformização dos processos psicossociais ao risco e a definição de conceitos universais para diferentes áreas de conhecimento.

Figura 5.3 - Representação do modelo estrutural SER.



Fonte: Adaptada de Rohrmann (2008).

O modelo SER apresenta a relação de influência entre os múltiplos elementos da percepção do risco (no eixo central do diagrama), da situação e características de contexto individual (eixo superior do diagrama) e influências do contexto social e cultural (eixo inferior do diagrama) na avaliação subjetiva de riscos, cujo resultado ou elemento de resposta final é o comportamento do indivíduo diante de uma situação de decisão sob risco (ROHRMANN, 2005).

No modelo SER, a atitude ao risco é definida como a intenção ou orientação (*mind-set*) favorável ou desfavorável ao risco, formada quando um indivíduo está decidindo como proceder em uma situação com resultados incertos, cujos traços subjacentes que a definem são propensão e aversão ao risco. Entretanto, a

descrição do modelo não apresenta explicitamente como se dá a formação da atitude ao risco, questão que possui diferentes visões na literatura. Enquanto alguns autores afirmam ser um processo deliberado, outros atribuem ao processo um carácter intuitivo e dependente das características de personalidade e emocionais do indivíduo. Como resultado, a neutralidade do modelo SER neste aspecto admite as duas versões de formação da atitude ao risco.

A magnitude de risco deve ser entendida como o nível de risco percebido, podendo ser constituído de variáveis quantitativas (e.g., severidade de extensão de dano, probabilidade de eventos, incertezas) e qualitativas (e.g., irreversibilidade, longevidade de impactos, efeitos para futuras gerações, controlabilidade, potencial catastrófico). Enquanto a aceitação do risco se refere a declaração ou posicionamento de um indivíduo quanto a tolerância ao risco (*risk-tolerance*) (ROHRMANN, 2008).

O comportamento ao risco, além de ser influenciado pela atitude ao risco, depende dos diversos fatores do contexto, absorvidas através das propriedades de percepção do risco de magnitude percebida (*risk magnitude appraisal*) e aceitabilidade do risco (*risk acceptance*), representados no eixo central do modelo SER (ROHRMANN, 2008). Para este trabalho e de acordo com Rohrmann (2005) e Dohmen et al. (2011) o comportamento ao risco pode assumir dois diferentes estados: comportamento de assumir risco (*risk taking behavior* ou *risky behavior*) ou comportamento de evitar riscos (*avoid risk*).

Os elementos de contexto que influenciam a magnitude e a aceitabilidade do risco no modelo SER são equivalentes aos elementos dos diferentes níveis de contexto apresentados no modelo de percepção de risco de Renn e Rohrmann (2000), Figura 5.1. Portanto, a percepção de risco guia as decisões quanto a aceitabilidade de riscos e é uma importante influência no comportamento ao risco. O Apêndice G apresenta em mais detalhes a conceituação e fundamentação de atitude, preferência e comportamento ao risco, assim como os principais métodos e formas de medida.

As pesquisas sobre modelos tomadas de decisão para explicar as preferências e atitudes ao risco tem longo histórico e acompanharam a evolução dos fundamentos do conceito risco das diferentes áreas do conhecimento. A Seção 5.3 apresenta os fundamentos que suportam as pesquisas da psicologia com destaque para a Teoria da Perspectiva (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), reconhecida pela ruptura no entendimento do modelo racionalista de utilidade como abordagem descritiva de tomadas de decisão.

5.3 Fundamentação dos modelos de tomadas de decisão

O primeiro modelo analítico de tomada de decisão surgiu a partir da noção quantitativa de risco com a definição da teoria de probabilidade no século XVII (ORE, 1960). Neste contexto, a abordagem de valor esperado (*Expected Value - EV*) consiste em um procedimento racional de identificar todos os possíveis resultados de uma decisão (e.g., prêmios e perdas de uma aposta) e suas probabilidades, multiplicá-los individualmente e somar os resultados. Esse total é considerado o valor esperado ou a expectativa matemática de uma decisão e, a partir deste resultado e a preferência de um decisor, a atitude do decisor é definida. Segundo Weber (2010), a utilização dessa abordagem prevê que o decisor racional busque a maximização de valor esperado em decisões, independente de outros fatores.

O pensamento EV foi substituído como abordagem normativa de decisões com o advento do conceito de utilidade, inicialmente proposto por Daniel Bernoulli em 1738 (com a solução do Paradoxo de São Petersburgo). O conceito de utilidade estabelece que o valor de algo não é mensurado somente pelo valor monetário envolvido, mas inclui também valores subjetivos dependentes do decisor. Nessa abordagem, a utilidade poderia ser definida através de uma função matemática (onde a distribuição exponencial é mais comumente utilizada) e a predição de comportamento de um decisor poderia ser definida a partir do conhecimento dos parâmetros da função utilidade (WEBER, 2010).

Mesmo com as primeiras ideias sobre utilidade desenvolvidas por Daniel Bernoulli, o entendimento do comportamento humano ao risco permaneceu a

premissa de que humanos tem comportamento lógico e racional (i.e., "*economic men*" ou "*economic person*") onde, as tomadas de decisão são explicadas com base em análises de custo-benefício ou na maximização de utilidade esperada (RAUE; LERMER; STREICHER, 2018).

A interpretação inicial de utilidade considera que qualquer aumento de riqueza (ou ganhos e geral) resulta em um aumento de utilidade que é inversamente proporcional à quantidade de bens sob posse de um indivíduo (BERNOULLI, 1954). Nesse contexto, todos os decisores são considerados avessos ao risco (*risk averse*), devido a diminuição de utilidade marginal, ou seja, o valor subjetivo (utilidade) resultante de incrementos constantes de ganhos se tornam cada vez menores (LOPES, 1987). Assim, o valor subjetivo percebido das perdas é maior do que o valor percebido de ganhos para a mesma magnitude, por exemplo, monetária em tomadas de decisão. Esse comportamento gera uma curvatura côncava ou negativamente acelerada da função de utilidade e, portanto, determina uma tendência de aversão ao risco. O modelo de maximização de utilidade esperada (EU) perdurou como o modelo de decisões normativo e descritivo por aproximadamente dois séculos.

As pesquisas experimentais (da psicologia), realizadas por volta dos anos 1960, mostraram que as pessoas não eram sempre avessas ao risco, conforme estabelecido pelo modelo EU da área econômica. As análises dos desvios quanto as preferências e escolhas observadas nos experimentos (com relação as teorias racionalistas EV e EU), identificaram comportamentos diferentes em determinadas situações (ROHRMANN; RENN, 2000). Neste contexto, Daniel Kahneman e Amos Tversky introduziram a Teoria da Perspectiva (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979).

A Teoria da Perspectiva foi criada como um modelo alternativo à teoria de utilidade esperada (EU) quanto modelo descritivo de tomadas de decisão sob risco. Na Teoria da Perspectiva, o valor atribuído a uma decisão é avaliado quanto a ganhos e perdas, partindo de um ponto de referência (*reference point*), ao invés da utilidade do estado de riqueza utilizado na teoria de utilidade clássica. Adicionalmente, probabilidades foram substituídas por pesos de

decisão (*decision weight* (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979)), pois os resultados experimentais apontaram que as probabilidades de resultados influenciam as escolhas de forma não linear (WEBER, 2010).

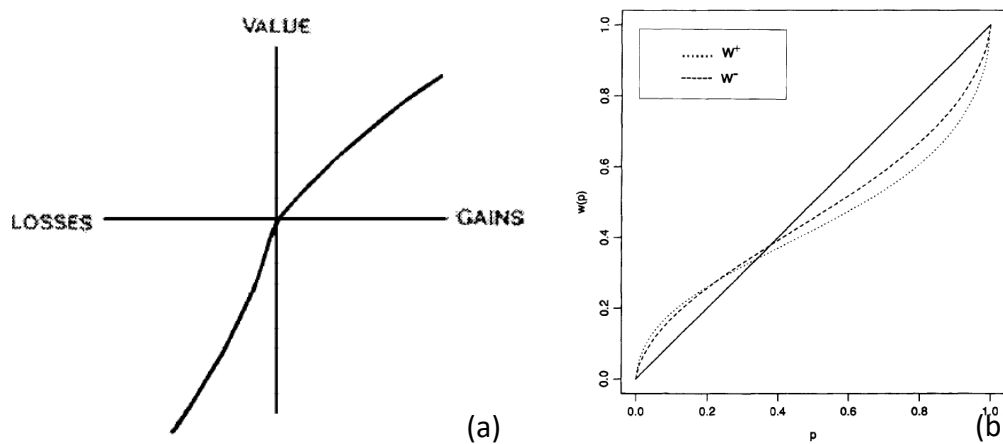
Conseqüentemente, Kahneman e Tversky definiram um novo formato para função de valor, conforme apresentado na Figura 5.4(a). A curva é côncava no domínio de ganhos, favorecendo aversão ao risco, convexa no domínio de perdas, favorecendo busca por riscos (*risk-seeking*), e ainda tem uma inclinação mais abrupta no domínio das perdas, em um fator de 2 para 2,5, indicando aversão à perdas (*loss-averse*) (KAHNEMAN, 2003a).

Segundo Kahneman e Tversky (1979) a fundamentação da Teoria da Perspectiva está na propriedade geral do sistema de percepção (sistema cognitivo) de realçar a acessibilidade de mudanças e diferenças, ou seja, dependente de referência. Os atributos percebidos de um estímulo refletem o contraste entre o estímulo corrente e o contexto de estímulos anteriores. Enquanto a teoria de utilidade esperada (EU) assume que estados de riqueza possuem uma utilidade específica e prevê que a regra de decisão para escolhas sob risco é maximizar a utilidade do estado de riqueza. Também foi concluído que a mudança abrupta de aversão ao risco para busca de risco observado em diversos experimentos de decisão, não poderia ser explicada pela função utilidade de estado de riqueza. Mas as preferências poderiam ser determinadas por atitudes à ganhos e perdas, definidas relativamente a um ponto de referência, o que não havia sido incorporado por Bernoulli e seus sucessores (KAHNEMAN, 2003a).

Apesar do modelo permitir a definição de uma função de valor de preferências entre alternativas de decisão, a realidade é consideravelmente mais complexa porque introduz pesos de decisão, podendo produzir aversão ou busca ao risco mesmo com uma função de valor linear. Na Teoria de Perspectiva, o valor de cada possível resultado é multiplicado por um peso de decisão, definido pelo decisor. Entretanto, os pesos de decisão não são probabilidades (não obedecem aos axiomas de probabilidade) e não devem ser interpretados puramente como medidas do grau de crença. Observando os diversos experimentos conduzidos,

uma segunda conclusão da teoria da perspectiva, representado na Figura 5.4(b), é que as pessoas tem a tendência de atribuir pesos de decisão menores para probabilidades correspondentes moderadas e altas, enquanto subestimam pesos para pequenas probabilidades, gerando distorções nas decisões (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979; TVERSKY; KAHNEMAN, 1992). Neste sentido, a atitude ao risco é considerada um parâmetro livre e admite que as pessoas possam ter diferentes atitudes diante de decisões sob riscos (CHARNESS; GNEEZY; IMAS, 2013).

Figura 5.4 - Função de valor para mudanças de ganhos e perdas (a) e não linearidade de pesos de decisão (b) propostos na Teoria da Perspectiva.



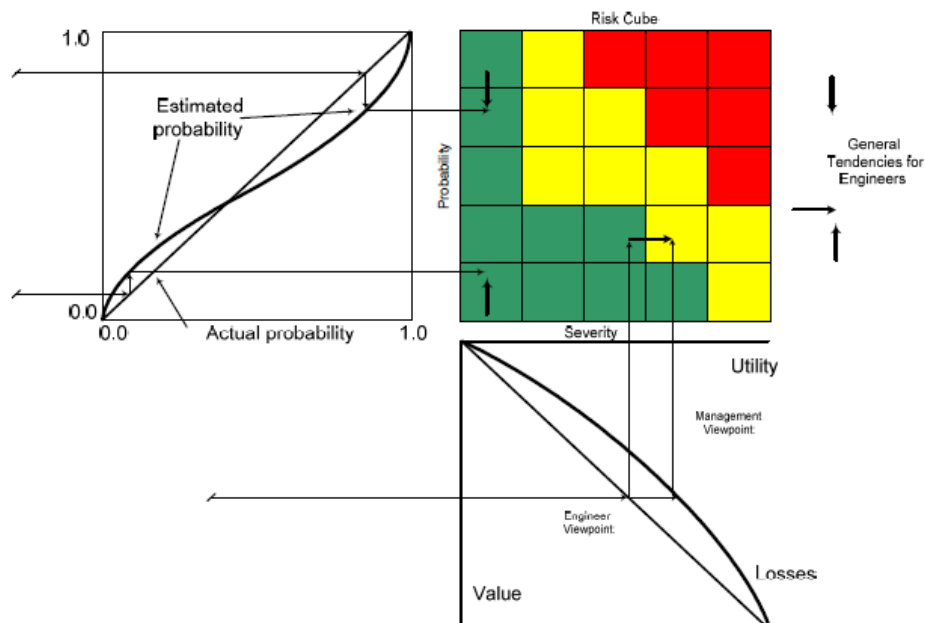
Fonte: Adaptada de Kahneman e Tversky (1979) e Tversky e Kahneman (1992).

A teoria da perspectiva tem implicações diretas na análise de risco. Smith et al. (2009) e Siefert (2007) demonstraram como a Teoria da Perspectiva impacta a avaliação de probabilidade de ocorrência e consequência durante a análise de riscos, utilizando a ferramenta de matriz de risco. Os autores concluíram que há uma tendência geral de avaliar a probabilidade em valores centrais ou médios (*likelihood centering bias*) e exagerar na avaliação de consequência para valores mais extremos ou de maior impacto (*systematic increase in consequences* (LENGYEL, 2018)). Esses e outros vieses presentes na avaliação de riscos utilizando matrizes de risco são denominados de *risk point placement biases* definidos em maior detalhe na pesquisa de Smith et al. (2009).

A Figura 5.5 apresenta os vieses de tendência de centralização de probabilidades e avaliações mais extremas de consequências na matriz de risco,

conforme os comportamentos esperados de decisão segundo a Teoria da Perspectiva.

Figura 5.5 - Implicações da Teoria da Perspectiva no uso da matriz de riscos.



Fonte: Adaptada de Smith et al. (2009).

A tendência de centralização de probabilidade tem relação com o peso de decisão associado a cada probabilidade (Figura 5.4(b)), denominado de *estimated probability* por Smith et al. (2009), onde os pesos são normalmente menores do que as probabilidades correspondentes, exceto para pequenas probabilidades, onde os pesos são superestimados e contribuem para o comportamento de correr riscos (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979).

Enquanto a tendência de sobrestimar consequências é representada com a utilização somente da parte inferior da função de valor (terceiro quadrante do gráfico da função de valor da Figura 5.4(a)), girando-a no sentido anti-horário com relação ao eixo de valores (inverter horizontalmente) e posicionando-a abaixo da matriz de risco. A utilização somente da metade da função de valor (no sentido das perdas) é justificada pela conceituação de riscos como eventos não desejáveis (riscos com consequências negativas), enquanto girar o gráfico da função de valor serve para obter correspondência do eixo de perdas/ganhos e sentido de pior severidade (matriz do risco) (SMITH; SIEFERT; DRAIN, 2009).

6 ANÁLISE DE RISCOS NO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS

As atividades relacionadas à análise de riscos no desenvolvimento de sistemas espaciais são inter e transdisciplinares a todas as áreas necessárias ao desenvolvimento de um projeto, além de atuar em todo o ciclo de vida do sistema. O processo de atuação da disciplina muda conforme os objetivos de gerenciamento (contínuo) e análise de riscos (i.e., para suportar tomadas de decisões - RIDM). O gerenciamento de riscos normalmente é integrado ao gerenciamento do projeto e as suas diretrizes estão definidas em política, seja institucional ou específica para uma aplicação, e estruturado por processos, métodos e ferramentas que atendam os requisitos estabelecidos.

Este capítulo apresenta os fundamentos da análise de riscos no desenvolvimento de sistemas espaciais e os principais conceitos utilizados. Também são apresentadas as estruturas de análise de riscos utilizadas nas organizações de referência do setor espacial *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *European Space Agency* (ESA), com ênfase para a integração da disciplina risco na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais (e.g., JPL/NASA e ESTEC/ESA), além das pesquisas e aplicações atuais relacionadas ao tema desta Tese.

6.1 Fundamentos da análise de risco na área espacial

O padrão de medida de risco normalmente adotado em áreas de engenharia e também na área espacial é resultante da associação da probabilidade de ocorrência (p_i) e a medida do impacto ou consequências (x_i) de um cenário de risco (s_i), conhecido como *risk triplet* (s_i, p_i, x_i) desenvolvido por Kaplan e Garrick (1981). Frequentemente, essa associação é realizada numericamente e resulta em um indicador quantitativo denominado de nível de risco, que é utilizado como critério de gerenciamento de riscos e interpretado como uma medida objetiva de um risco (i.e., valor esperado ou perda esperada). Apesar da ampla utilização dessa abordagem, a sua interpretação objetiva e a utilização de probabilidades como forma de expressão das componentes (p_i e x_i), sem a adequada

interpretação (GALAVOTTI, 2017), são consideradas problemáticas em diversos contextos (AVEN, 2012b; AVEN; FLAGE, 2020).

A ferramenta de comunicação de riscos mais comumente utilizada é o diagrama de riscos ou matriz de risco (*probability-consequence diagrams – PCDs* (DILLON et al., 2018)), que apresenta os riscos posicionados em uma matriz segmentada por regiões. As regiões da matriz de risco representam diferentes ações a serem tomadas para os riscos classificados nestas áreas, seguindo a política de riscos adotada naquele contexto (projeto ou organização) (GOERLANDT; RENIERS, 2016; AVEN, 2017a). Entretanto, a construção padrão da matriz de risco como forma de comunicação omite diversos elementos informativos importantes para tomadas de decisão (COX JR, 2008; DUIJM, 2015).

6.1.1 Riscos de aspectos tecnológicos na área espacial

Segundo NASA (2016a) programas e projetos espaciais tipicamente necessitam desenvolver e/ou incorporar novas tecnologias para atingir suas metas, objetivos e requisitos em atendimento as necessidades de stakeholders. A incorporação tecnológica frequentemente é a causa de extensão de prazos, superação de custos e ocasionalmente até cancelamentos ou falhas. Os contribuintes principais para tais resultados negativos estão relacionados a graus de incerteza do início do projeto e a falta de compreensão da maturidade tecnológica necessária para conduzir um projeto de sucesso.

Segundo a NASA (NASA, 2016a), a avaliação tecnológica (TA – *Technology Assessment*) deve ser continuamente realizada durante a fase inicial do ciclo de vida até a PDR (*Preliminary Design Review*), permitindo o monitoramento do amadurecimento tecnológico durante o desenvolvimento. Esse processo é composto por duas partes, a avaliação da maturidade tecnológica (TMA – *Technology Maturity Assessment*) que determina a maturidade tecnológica através de alguma métrica específica (e.g., TRL - *Technology Readiness Level*) e a avaliação do grau de dificuldade de amadurecimento (AD² - *Advancement Degree of Difficulty Assessment*), que consiste no entendimento do que é requerido para avançar o nível de maturidade.

O AD² é a quantificação do grau de dificuldade em avançar uma tecnologia. Este parâmetro é apresentado no manual de engenharia de sistemas da NASA (NASA, 2016a) como parte do processo de avaliação tecnológica, porém nenhuma orientação normativa é apresentada para avaliação do AD². Não há um processo formalmente estabelecido para a avaliação do AD², lacuna em que alguns trabalhos como Bilbro (2007), Bilbro e Yang (2009) e mais recentemente Zhang (2019) sugerem soluções.

A avaliação de prontidão tecnológica (TRA - *Technology Readiness Assessment*) é o método mais comumente empregado para TMA e consiste em um processo sistemático para desenvolver o nível apropriado de entendimento técnico e de risco (no sentido de prontidão tecnológica) requerido para uma inserção tecnológica de sucesso em um sistema em desenvolvimento (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016). O elemento tipicamente avaliado no TRA é o TRL (*Technology Readiness Level*), uma medida padronizada desenvolvida pela NASA no âmbito do desenvolvimento estratégico de tecnologias (SADIN; POVINELLI; ROSEN, 1989) e posteriormente para o gerenciamento de prontidão e infusão tecnológica em projetos espaciais (MANKINS, 1995).

O handbook de Engenharia de Sistemas da NASA (NASA, 2016a) apresenta um guia geral sobre o processo de TRA na determinação do TRL. O processo consiste em responder uma sequência de questões para demonstrar o nível TRL e registrar a avaliação nas três dimensões de demonstração física, ambiente e descrição da unidade (*fit, form, function e scale*).

Neste contexto, o JPL desenvolveu o próprio processo de TRA conforme publicado em Frerking e Beauchamp (2016) e o guia (NASA, 2020) para estabelecimento de um processo formal. No cenário brasileiro, a Agência Espacial Brasileira (AEB) desenvolveu uma ferramenta formal para o TMA, denominada IMATEC (XAVIER JR et al., 2020).

O relatório do time de estudos da NASA (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016) aponta que a falta de consistência em delinear os conceitos de tecnologia e engenharia, e a falta de incluir outras informações como AD² e MRL geram alta subjetividade

ao processo de avaliação de riscos e a sua dependência da experiência e capacidade do time que conduz a avaliação.

Hirshorn e Jefferies (2016) e também Mankins (2009b) afirmam que a utilização somente de TRL, sem associa-lo a outros parâmetros, não provê qualquer indicativo do nível de dificuldade (esforço ou recursos requeridos) em maturação da tecnologia ou quais serão as perdas do sistema na integração de tal tecnologia. Portanto, o uso do TRL isoladamente, como indicador de risco, é um estimador limitado.

Mankins (2009b) propõe uma abordagem integrada de avaliação de riscos e prontidão tecnológica denominada *Technology Readiness and Risk Assessment* (TRRA) com o objetivo auxiliar na gestão de riscos tecnológicos de programas e projetos de pesquisa e desenvolvimento. O TRRA integra o R&D³ (*Research & Development Degree of Difficulty*) representando a probabilidade, e a combinação $\Delta\text{TRL} \times \text{TNV}$ (*Technology Need Value*) representando as consequências de uma matriz de risco, produzindo uma forma integrada de avaliação e acompanhamento de riscos de R&D de diferentes tecnologias de um sistema.

O R&D³ é definido como uma medida da dificuldade esperada na maturação de uma tecnologia (MANKINS, 1998) e constitui de uma escala de cinco níveis (Figura 6.1), similar ao TRL, onde R&D³ = 1 representa muito baixo grau de dificuldade para realização dos objetivos de R&D, enquanto o nível R&D³ = 5 representa um nível de dificuldade tão alto que é necessária uma descoberta na pesquisa básica (ex. na física ou química) para viabilizar um conceito da tecnologia ou sistema. O TNV é entendido como um fator para balanceamento, baseado na importância de uma tecnologia específica, tanto em termos de aplicação no sistema como em termos de prover informações no tempo adequado para futuras decisões de gerenciamento do programa (MANKINS, 2009a). O TNV também consiste em uma escala de cinco níveis, onde o TNV-1 representa que o esforço tecnológico não é crítico para o sucesso do programa enquanto o TNV-5 representa que o esforço tecnológico é criticamente importante para o sucesso do programa (MANKINS, 2009b).

Figura 6.1 - Cenário genérico de desenvolvimento tecnológico.

R&D3 = 1	Grau muito baixo de dificuldade prevista em atingir os objetivos de P&D para esta inovação; somente um conjunto (ou no máximo dois) de abordagens tecnológicas necessários para estar garantido de uma alta probabilidade de sucesso em atingir objetivos técnicos em aplicações sistêmicas posteriores.
R&D3 = 2	Grau moderado de dificuldade prevista em atingir os objetivos de P&D para esta inovação; 2 a 3 abordagens tecnológicas são necessárias; conduzido cedo para permitir algumas alternativas a serem perseguidas para garantir uma alta probabilidade de sucesso em atingir os objetivos técnicos em aplicações sistêmicas posteriores.
R&D3 = 3	Grau alto de dificuldade prevista em atingir os objetivos de P&D para esta inovação; 3 a 4 abordagens tecnológicas são necessárias; conduzido cedo para permitir uma abordagem alternativa de subsistema a ser perseguida para garantir uma alta probabilidade de sucesso em atingir os objetivos técnicos em aplicações sistêmicas posteriores.
R&D3 = 4	Grau muito alto de dificuldade prevista em atingir os objetivos de P&D para esta inovação; 4, 5 ou mais abordagens tecnológicas são necessárias; conduzido cedo para permitir um conceito de sistema alternativo a ser perseguido para garantir uma alta probabilidade de sucesso em atingir os objetivos técnicos em aplicações sistêmicas posteriores.
R&D3 = 5	O grau de dificuldade prevista em atingir os objetivos de P&D para esta inovação é tão alto que uma descoberta fundamental em física ou química/etc. é necessária; pesquisa básica em áreas-chave são necessárias antes que conceitos viáveis do sistema possam ser refinados.

Fonte: Adaptada de Mankins (2009b).

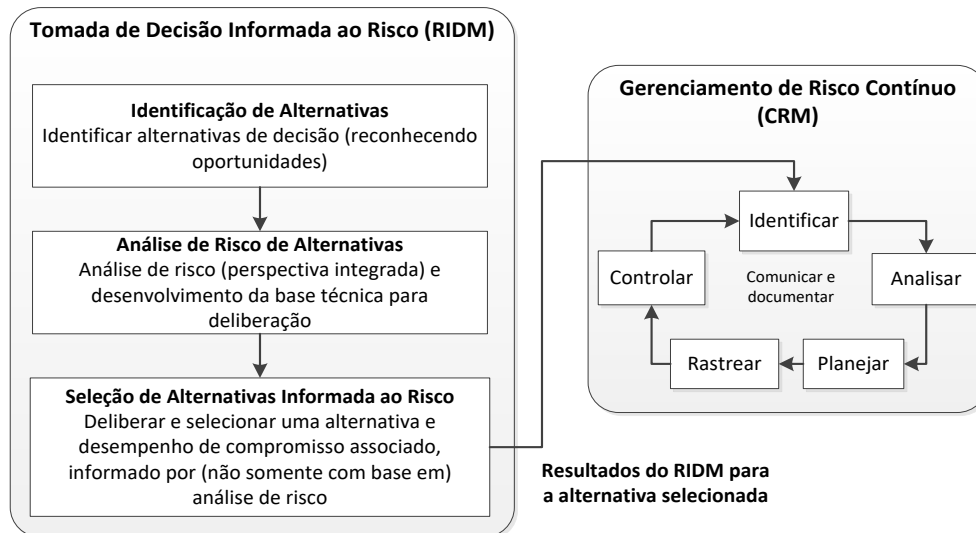
6.2 Análise de riscos na NASA

A NASA possui uma estrutura unificada e verticalizada de gerenciamento de riscos aplicável para todas as atividades da agência, de forma incluir toda a organização em nível estratégico (ERM). Para isso, existem dois processos principais, o gerenciamento contínuo de riscos (*Continuous Risk Management - CRM*) e processo de tomada de decisão informada por riscos (*Risk Informed Decision Making - RIDM*) (NASA, 2021).

Segundo Stamatelatos e Dezfuli (2011) o CRM foi o principal processo de gerenciamento de riscos da NASA até a introdução do RIDM em 2008, como processo complementar. A introdução do RIDM mudou fundamentalmente os processos da NASA, para métodos quantitativos, focados em riscos agregados ao invés de riscos individuais e gerenciamento dos drivers de riscos (NASA, 2017). Segundo NASA (2021), a quantificação dos processos permitiu que os gerentes identifiquem os drivers de diferentes riscos e encontrem interações e

dependências entre as causas, mitigações e impactos ao longo de todo projeto, permitindo a otimização de recursos e gerando maior acessibilidade (*affordability*). Com essa mudança, o processo de análise de riscos foi inserido em um contexto de tomadas de decisão, ao aplicar inicialmente o RIDM e posterior acompanhamento pelo CRM, conforme ilustrado na Figura 6.2.

Figura 6.2 - Representação da integração entre RIDM e CRM.



Onde, desempenho de compromisso (*performance commitment*): é o valor da medida de desempenho em um determinado nível de tolerância de risco para aquela medida de desempenho, aceitável para o tomador de decisão para as alternativas selecionadas.

Fonte: Adaptada de NASA (2011).

6.3 Análise de riscos na ESA

O padrão ECSS-M-ST-80C (ECSS, 2008)³ define os princípios e requisitos para o gerenciamento de risco integrado de um projeto espacial, apresentando o que é necessário para implementar uma política de gerenciamento de risco por qualquer ator do projeto, em qualquer nível

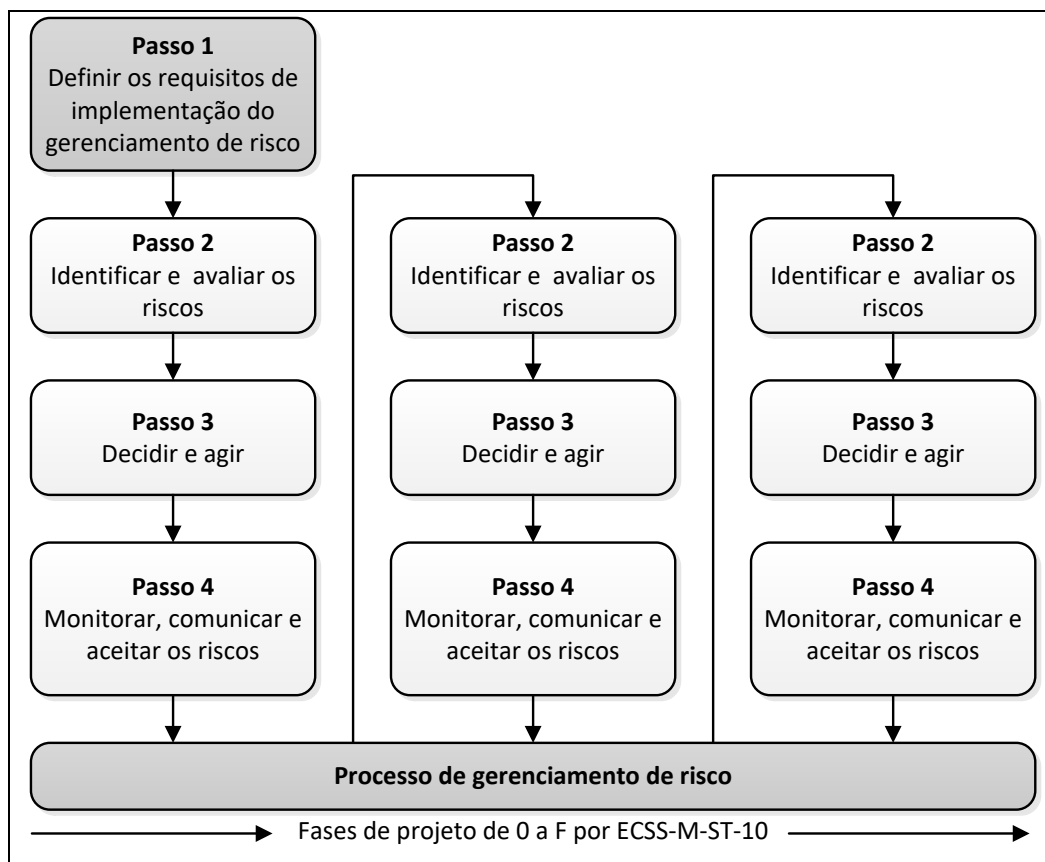
Segundo a ECSS (2008), o processo de gerenciamento de risco requer troca de informação entre todos os domínios do projeto e provê visibilidade através dos riscos com uma classificação de acordo com a sua criticidade para o projeto. Esses riscos são controlados e monitorados de acordo com as regras definidas pelo domínio o qual este pertence.

³ Para detalhamentos históricos da análise de riscos na ESA, veja Preyssl et al. (PREYSSL et al., 2002) e (PREYSSL et al., 1999).

O objetivo do gerenciamento de risco de um projeto é identificar, avaliar, reduzir, aceitar e controlar os riscos de projeto de forma sistemática, proativa, compreensiva, custo efetiva, levando em consideração as restrições técnicas e programáticas. Risco é considerado negociável contra os recursos de projeto convencionais dentro dos domínios de gerenciamento, programático (custo, cronograma) e técnico (massa, potência, dependabilidade, segurança). O gerenciamento de risco é um processo iterativo ao longo do ciclo de vida do projeto, com interações sendo determinadas pelo progresso do projeto ao longo das diferentes fases e por mudanças em determinada linha de base de projeto influenciando os recursos do projeto (ECSS, 2008).

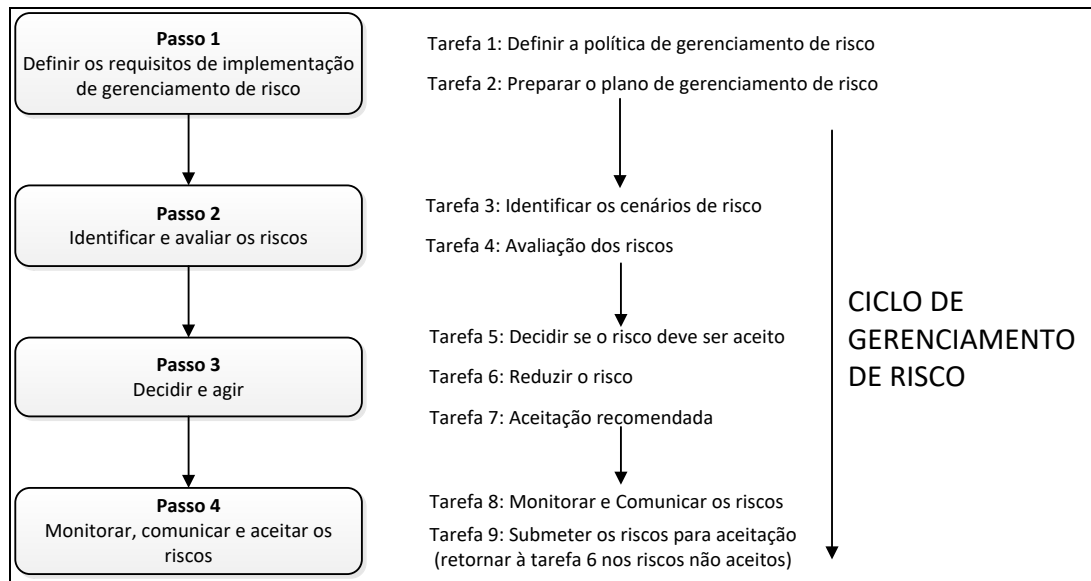
O processo iterativo de gerenciamento de risco da ECSS ao longo das fases do ciclo de vida de um projeto é apresentado na Figura 6.3. As tarefas a serem realizadas em cada etapa deste processo são apresentadas na Figura 6.4.

Figura 6.3 - Etapas e ciclos no processo de gerenciamento de riscos da ECSS.



Fonte: Adaptada de ECSS (2008).

Figura 6.4 - Detalhamento das tarefas associadas às etapas do processo de gerenciamento de risco.



Fonte: Adaptada de ECSS (2008).

6.4 Análise de riscos na fase de concepção do ciclo de vida de sistemas espaciais

Segundo NASA (2016a), a fase de concepção (i.e., *Pre-Formulation – NASA Lifecycle, Pre-Phase A – Project Lifecycle*) de desenvolvimento de sistemas espaciais tem como objetivo produzir um espectro abrangente de ideias e alternativas para missões das quais novos projetos podem ser selecionados. Para isso, são determinados a viabilidade do sistema desejado, conceitos de missão, requisitos do nível sistema (preliminares), avaliação a viabilidade de desempenho, custo e cronograma, identificação necessidades de potenciais tecnologias e escopo.

Com o objetivo de suportar a definição de conceitos de arquitetura de solução viáveis, a disciplina risco normalmente tem atuação desde a fase de concepção do ciclo de vida de projeto dos sistemas espaciais. A aplicação de processos de análise de risco nesta fase tem como principal utilidade a identificação de eventos que podem gerar consequências que afetam os objetivos ou restrições da missão, permitindo modificações nos conceitos o mais cedo possível ou para conhecimento das vulnerabilidades das diferentes alternativas. Essas

informações devem alimentar o processo de tomada de decisão (e.g., RIDM) e servir de entrada para o processo de gerenciamento de risco (e.g., CRM) a ser implantado no projeto e que acompanhará todo o ciclo de vida do sistema.

Segundo Emmons et al. (2018) a identificação de riscos é um processo contínuo ao longo do ciclo de vida de um projeto, entretanto, é criticamente importante no início da fase conceitual e de formulação do projeto.

No âmbito da era “*faster-better-cheaper*” do setor espacial e a necessidade de realizar os estudos conceituais de missões espaciais em menor tempo, agências espaciais criaram centros especializados de engenharia utilizando a abordagem de engenharia simultânea (CASE et al., 2021). O primeiro centro desenvolvido foi o Team-X em 1955 no JPL/NASA e atualmente existem muitos outros (KNOLL; FORTIN; GOLKAR, 2018).

Engenharia simultânea é um método no qual o conjunto mínimo necessário de especialistas relevantes em um espaço compartilhado, operando sob dados compartilhados e facilitado por um líder do estudo, conduz um estudo conceitual quantitativo (HIHN; CHATTOPADHYAY, 2021). As entradas são tipicamente um conjunto de requisitos de desempenho para a missão e a saída é um relatório de estudo que apresenta o projeto da missão, requisitos derivados, seleção de instrumentos, conceitos de operação, descrição e desempenho de todos os subsistemas, balanços de massa, potência e outros recursos, estimativas programáticas da missão (cronograma, custo e risco). Um estudo típico especialistas, representantes do cliente e leva poucas semanas desde a reunião inicial até o relatório final, contando com trabalho fora e dentro de seções de engenharia simultânea (SHERWOOD; MCCLEESE, 2013).

A análise de riscos neste contexto impõe diversos desafios aos times de projeto, relatados na literatura por diferentes autores (HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2010, 2012; COOPER, 2011; HIHN; CHATTOPADHYAY; VALERDI, 2011; PASMÁN; ROGERS; BEHIE, 2022).

6.4.1 Análise de riscos na fase conceitual no Jet Propulsion Laboratory – JPL/NASA

O Innovation Foundry (IF) do JPL, criado em 2005 (WESSEN et al., 2022), é um conjunto de ambientes de projeto que integra métodos, ferramentas e especialistas que abrangem a fase de concepção do ciclo de vida de uma missão espacial. O IF é considerado um ecossistema onde proponentes de missões espaciais amadurecem as ideias da missão desde “rascunhos de guardanapo” (i.e., *wicked problem* (BALINT; HORÁNYI; TURNER, 2020)) até a PDR.

O IF integra as capacidades do JPL em desenvolvimento de propostas e engenharia simultânea, incluindo o Team-X (CASE et al., 2021), A-Team (ZIEMER; WESSEN; JOHNSON, 2016) e Team-Xc (AUSTIN et al., 2020), com abordagens para exploração de conceitos de missão em fases iniciais de desenvolvimento. O IF utiliza o *Concept Maturity Level* – CML (SHERWOOD; MCCLEESE, 2013) como ontologia para comunicação e entendimento do nível de maturidade de conceitos de missões em diferentes estágios (HIHN et al., 2020). A Figura 6.5 apresenta a evolução sistemática de uma ideia utilizando a escala CML durante o processo de desenvolvimento de uma missão no IF.

Segundo Wessen et al. (2009), em 2009 o JPL criou a escala do CML, ver Tabela 6.1, para medir o grau de maturidade de conceitos de missão e prover indicadores de maturidade para tomada de decisão da NASA. E esta escala é utilizada como fator principal para a formulação do ciclo de vida no IF e tem como base a escala TRL para sua formulação. Segundo Wessen et al. (2022), com base no conceito CML, o JPL desenvolveu uma abordagem para entender e avaliar a maturidade de um conceito de missão baseado em seis dimensões: ciência, estratégia, história, engenharia, implementação e custo. A avaliação é similar ao *weakest link/roll up* do TRL (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016), onde o menor CML entre as dimensões avaliadas é considerado o CML global.

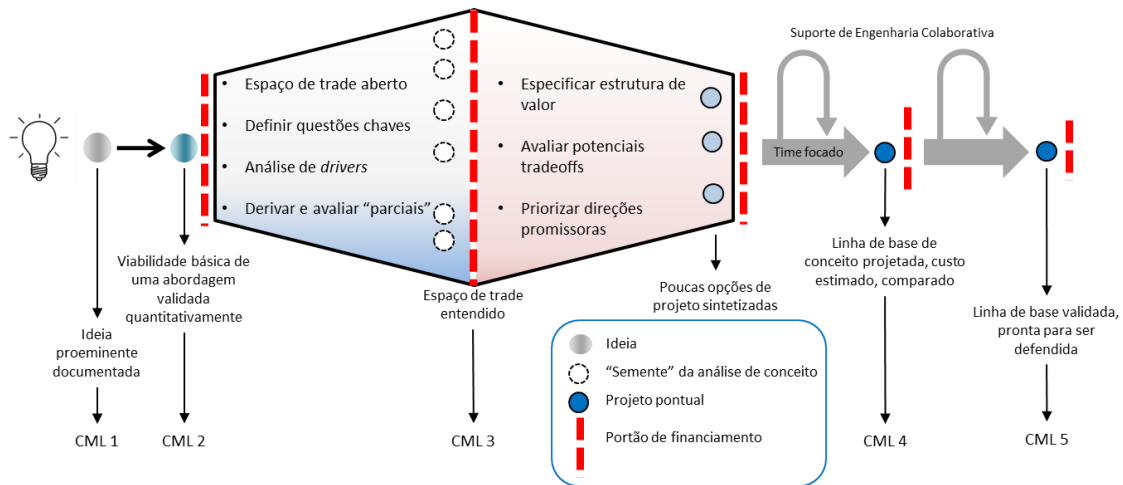
Ao longo do processo de evolução da maturidade de um conceito no IF, a missão passa por diferentes abordagens, ambientes e times de desenvolvimento. As duas principais abordagens do IF são o A-Team (CML1 – CML3) e o Team X (CML4) (HIHN et al., 2020).

Tabela 6.1 – Definições dos níveis de maturidade de conceito (CML).

Nível de Maturidade de Conceito (CML)	Definição
CML 1 Rascunho de guardanapo	As questões científicas foram todas articuladas, o tipo de observações científicas necessárias para atender as questões foram propostas e um esboço rudimentar do conceito de missão e objetivos de alto nível foram criados. A essência do que faz a ideia única e significativa foi capturada.
CML 2 Viabilidade inicial	A ideia é expandida e questionada quanto sua viabilidade quanto aos pontos de vista de ciência, técnico e programático. Objetivos de baixo nível foram especificados, parâmetros-chave de desempenho quantificados e cálculos básicos foram realizados. Os cálculos, até primeira ordem, determinam a viabilidade do conceito.
CML 3 Espaço de <i>trades</i>	Exploração foi realizada em torno dos objetivos científicos e <i>trades</i> de arquitetura entre o sistema espacial, sistema solo e projeto da missão para explorar impactos e entender o relacionamento entre retorno científico, custo e risco.
CML 4 Projeto pontual	Um projeto específico e custo que provê o retorno científico desejado foi selecionado dentro do espaço de <i>trade</i> e definido até o nível de subsistemas principais com margens e reservas aceitáveis. <i>Trades</i> de subsistemas foram realizados.
CML 5 Conceito de linha de base (<i>baseline</i>)	Abordagem de implementação foi definida incluindo parcerias, modo de contratação, abordagem de integração e testes, custo e cronograma. Este nível de maturidade representa o nível necessário para escrever uma proposta – etapa 1 para projetos PI-led e realização da Revisão de Conceito de Missão (<i>Mission Concept Review – MCR</i>) para projetos programáticos.
CML 6 Conceito integrado	Detalhes expandidos de elementos técnicos, gerenciais, custo e outros do conceito da missão foram definidos e documentados. Este nível de maturidade corresponde a etapa 2 da NASA para projeto PI-led, Relatório de estudo do conceito (<i>Concept Study Report – CSR</i>). Não há marco de projeto correspondente para projetos programáticos.
CML 7 Linha de base de implementação preliminar	Requisitos e análises preliminares do sistema e dos subsistemas, margens e reservas demonstradas (e aceitas), demonstrações de protótipos e tecnologias, completude da avaliação de risco e planos de mitigação. Este é o nível de maturidade necessário para missões PI-led realizarem a Revisão Preliminar do Sistema da Missão (<i>Preliminary Mission System Review – PMSR</i>) e para projetos programáticos realizarem a Revisão de Definição da Missão (<i>Mission Definition Review – MDR</i>).
CML 8 Linha de base integrada (PDR)	Planejamento e projeto proporcional para uma PDR.
CML 9 Revisão de Projeto Detalhado (<i>Critical Design Review – CDR</i>)	Planejamento e projeto proporcional para uma CDR.

Fonte: Adaptada de Wessen et al. (2009) e Wessen et al. (2013).

Figura 6.5 – Evolução sistemática de uma ideia relacionada ao CML.



Fonte: Adaptada de Sherwood e Mcleese (2013).

No Team X, a metodologia de análise de riscos foi introduzida em 2001, com a necessidade de capturar os riscos da missão de forma sistemática e na tentativa de eliminar ou reduzir as pressões sofridas pelos times de engenharia simultânea quanto prover estimativas otimistas de custos e cronograma ou "varrer os riscos para debaixo do tapete", principalmente relacionadas à tecnologias emergentes, (HIHN et al., 2010; HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2010, 2012).

Segundo Hihn et al. (2012), o objetivo principal na identificação de riscos é prover informações para o time de desenvolvimento do projeto (cliente do estudo) sobre as áreas que devem ter maior atenção no projeto, de acordo com as investigações realizadas no estudo conceitual. Portanto, o foco da análise de risco no Team X, e em estudos dessa natureza, está na identificação e avaliação inicial de riscos e não no gerenciamento.

Normalmente, não são realizadas análises como FTA (*Fault Tree Analysis*) ou ETA (*Event Tree Analysis*), PRA (*Probabilistic Risk Assessment*), ou aplicação de outros métodos formais, de forma que poucos dados quantitativos são acessíveis durante um estudo para prover base às estimativas de risco. A geração de listas de risco consistentes com as entradas de todos os subsistemas relevantes e apresentando os resultados claramente aos stakeholders é difícil devido a velocidade na qual decisões são tomadas e o ambiente "caótico semi-organizado" do Team X. Frequentemente a velocidade do estudo é tão alta que

não é possível revisar formalmente os riscos para cada solução de projeto proposta enquanto o estudo avança, mas somente no final (HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2012).

Segundo Hihn et al. (2012) a ferramenta utilizada no Team X é o RAP (*Risk and Rationale Assessment Program*), conforme a Hihn et al. (2010) apresentam o desenvolvimento de um checklist de riscos para facilitar a avaliação de riscos de especialistas e estimular a avaliação de riscos de forma mais consistente e completa. Os checklists foram desenvolvidos para cada subsistema com os riscos comumente identificados em estudos passados do Team-X. Segundo Hihn et al. (2012) os checklists foram incorporados na ferramenta RAP e são realimentados com os dados de novos estudos através de mineração de texto (*text mining*) para encontrar correlações entre riscos e missões de forma que riscos e suas avaliações (*scores*) anteriormente identificados em outros estudos podem ser acessados para melhorar a consistência entre avaliações. Ainda, Hihn et al. (2012) afirmam que pesquisas estavam em andamento para capturar o modelo mental de participantes do Team-X para aprimoramento na forma de apresentação do checklist e informações do banco de dados.

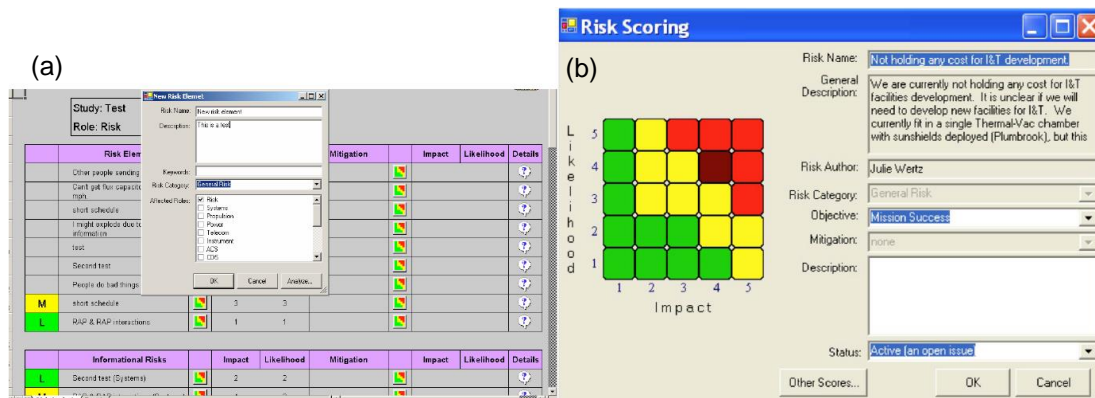
Figura 6.6. A ferramenta de software RAP é um sistema distribuído que permite a comunicação entre vários projetistas utilizando a interface do *MS Excel*®. Algumas características principais da ferramenta são:

- a) Todos os participantes podem entrar e pontuar um risco, utilizando o formulário de entrada do risco;
- b) Todos os riscos são avaliados utilizando a matriz 5x5 padrão da NASA;
- c) Todos os participantes que podem ser afetados pelo risco são notificados pelos próprios participantes;
- d) Todos os participantes afetados são notificados se qualquer mudança foi realizada no risco;
- e) O responsável pela disciplina de risco determina a última palavra e avaliação para todos os riscos da missão e apresentam os resultados para os clientes e o time, usualmente próximo ao final da Seção;

- f) Todas as avaliações finais e descrições são arquivadas em um banco de dados no final da última Seção.

Hihn et al. (2010) apresentam o desenvolvimento de um checklist de riscos para facilitar a avaliação de riscos de especialistas e estimular a avaliação de riscos de forma mais consistente e completa. Os checklists foram desenvolvidos para cada subsistema com os riscos comumente identificados em estudos passados do Team-X. Segundo Hihn et al. (2012) os checklists foram incorporados na ferramenta RAP e são realimentados com os dados de novos estudos através de mineração de texto (*text mining*) para encontrar correlações entre riscos e missões de forma que riscos e suas avaliações (*scores*) anteriormente identificados em outros estudos podem ser acessados para melhorar a consistência entre avaliações. Ainda, Hihn et al. (2012) afirmam que pesquisas estavam em andamento para capturar o modelo mental de participantes do Team-X para aprimoramento na forma de apresentação do checklist e informações do banco de dados.

Figura 6.6 - Formulários da ferramenta RAP. Formulário de cadastro de risco (a) e Formulário de avaliação do risco (b).



Fonte: Adaptada de Meshkat et al. (2005) e Hihn et al. (2012).

Em uma visão não favorável sobre o uso de checklists, Reeves et al. (2012) e Maytorena et al. (2007) apontam que a confiança em experiências e registros de riscos históricos pode ser contra produtivo para a identificação de riscos devido à sobre confiança em uma “mentalidade de checklist”. Uma razão de tal

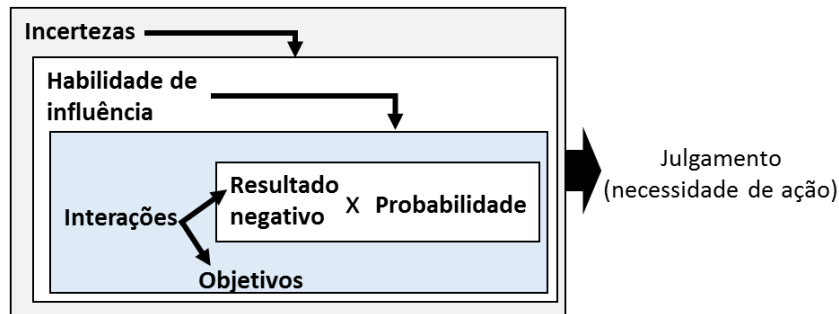
comportamento pode ser a ênfase permanente em experiências passadas e situações que geralmente estão sob o controle dos gerentes de projeto e risco.

Segundo as publicações encontradas na literatura, como Hihn et al. (2011), Hihn et al. (2010) e Hihn et al. (2012) o JPL realiza esforços de pesquisa para melhor entender como os especialistas formam e pensam com relação aos riscos em ambientes de engenharia simultânea, utilizando a teoria de modelos mentais. Segundo Rohrman e Renn (2000), uma perspectiva mais ampla do que heurísticas e vieses é a pesquisa de modelos mentais (*mental models* (BOSTROM; FISCHHOFF; MORGAN, 1992)) desenvolvidos por humanos para enfrentar situações de risco.

Os trabalhos de pesquisa realizados por Lynne Cooper (COOPER, 2011) e (COOPER, 2008) desenvolveram um modelo mental de riscos "pré-quantitativos" a partir da observação de estudos do Team-X, conforme apresentado na Figura 6.7. O modelo representa o processo de modelo mental compartilhado de formação de riscos que vai muito além da representação clássica de risco como o produto de uma consequência negativa e uma probabilidade de ocorrência. Segundo Cooper (2011), os integrantes do time tentam ativamente trazer suas percepções individuais à atenção do time, influenciar os processos do time para modificar riscos e incertezas e documentar a sua percepção sobre os riscos. resultados negativos ou oportunidades x probabilidade;

A pesquisa de Cooper (2008) também mostrou que um time opera em um ambiente de riscos e incertezas significativos quase que inteiramente sem a necessidade de quantificar riscos. A autora sugere que para algumas classes de projetos, em pontos específicos do ciclo de vida, risco e incertezas não necessitariam ser medidos, bastando somente a percepção do time quando o aumento ou diminuição de risco e incertezas. Ainda, a autora faz críticas ao uso de matriz de risco quanto ao significativo esforço realizado para estimar os níveis de probabilidade e consequência, quanto ao processo de conversão da estrutura de modelo mental em uma medida simplificada de dois fatores.

Figura 6.7 - Modelo integrado da formação pré-quantitativa de riscos de um time de projeto.



Onde, interações entre objetivos (as vezes contraditórios) e elementos diferentes do sistema; habilidade de influenciar resultados, probabilidades e interações; grau de incerteza sobre a questão (grau de controle do conjunto de objetivos e interações entre os elementos do sistema); julgamento da aceitabilidade do risco.

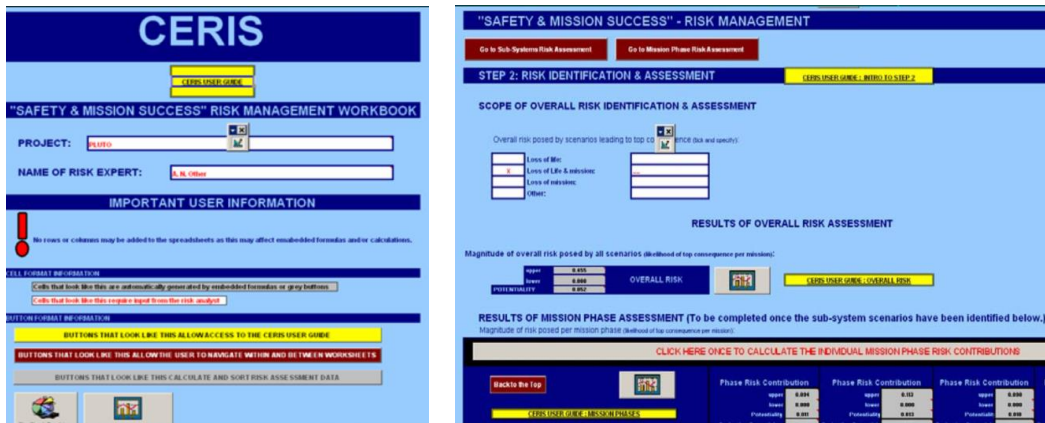
Fonte: Adaptada de Cooper (2008).

6.4.2 Análise de riscos na fase conceitual no *European Space Research and Technology Centre – ESTEC/ESA*

Desde 1996 a ESA desenvolve estudos com a abordagem de engenharia simultânea para as fases 0 e A do ciclo de vida no CDF (*Concurrent Design Facility*). O CDF desenvolveu o *Integrated Design Model (IDM)*, compatível com a ECSS-E-TM-E-10-25A, seguindo um processo estruturado que permite o compartilhamento de dados necessários para suportar as seções de projeto neste ambiente (ECSS, 2010). O OCDT (*Open Concurrent Design Tool*) é um ambiente de software aberto que suporta o processo de engenharia simultânea do CDF e implementa o IDM. O OCDT permite o desenvolvimento do projeto conceitual de forma colaborativa e distribuída e é considerado o elemento principal do CDF (DE KONING et al., 2014).

Segundo Preyssl e Sarah (2004), o CDF trata riscos como um parâmetro de projeto, assim como outras características do projeto (i.e., custo, prazo, desempenho), e desenvolveu uma ferramenta de análise de riscos chamada CERIS (Figura 6.8) para dar suporte na identificação, avaliação e gerenciamento de riscos durante os estudos do CDF. O CERIS é estruturado graficamente em folhas de trabalho (*work sheets*) que refletem as etapas do processo de gerenciamento de riscos e permite acesso às informações por todo o time do projeto.

Figura 6.8 - CERIS da estação de trabalho da disciplina risco no CDF.

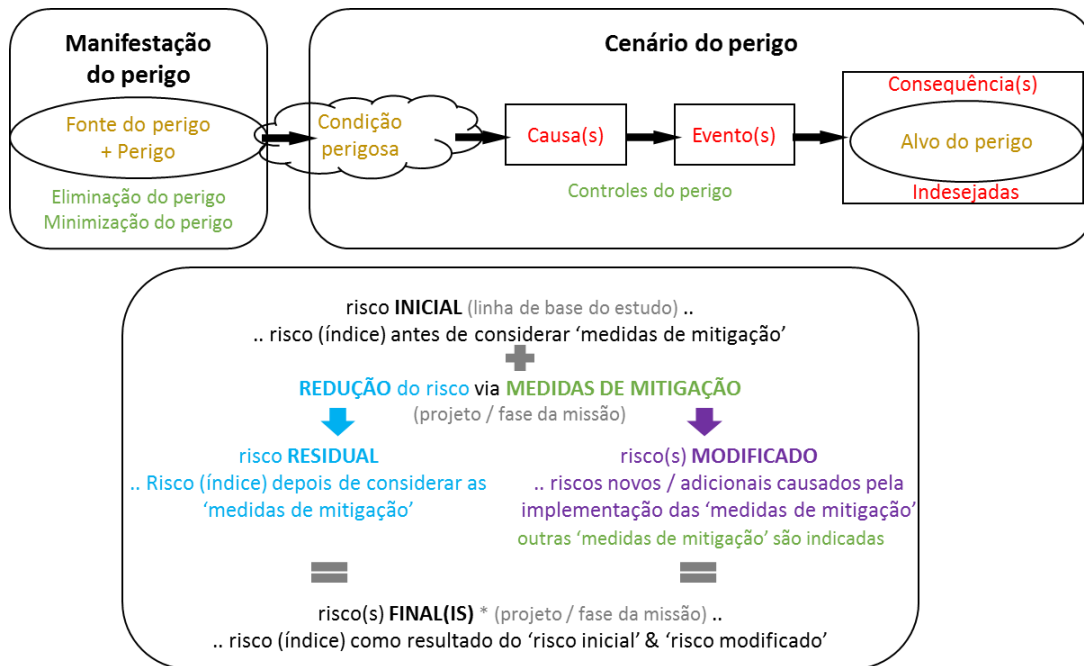


Fonte: Preyssl et al. (2005).

Observa-se que a revisão da literatura realizada não permite afirmar se o CERIS foi descontinuado de utilização pelo CDF. Entretanto, ao observar alguns relatórios de estudos mais recentes, nota-se uma mudança fundamental no método e ferramentas utilizados. Segundo Wegner (2019), publicação mais recente encontrada sobre o assunto, a análise preliminar de riscos atualmente realizada pelo CDF utiliza uma abordagem centrada no conceito de perigos (*hazard*), baseada nos princípios e relacionada ao método FMEA, conforme estrutura conceitual apresentada na Figura 6.9 e utiliza um banco de dados único (i.e., *Space System Technical Risk Database - SSYSTEMER*) para registrar e conduzir as análises.

O ANEXO A apresenta os resultados da análise de riscos disponibilizados em dois relatórios finais de estudos conceituais, um deles realizado no JPL e outro no CDF (anterior à mudança apresentada por Wegner (2019)), para contextualização dos elementos apresentados nesta Seção. Observa-se que ao longo do tempo existem mudanças da análise de risco aplicada nestes centros, inclusive fundamentais, que são considerados de referência e maior experiência no setor espacial.

Figura 6.9 – Fundamento conceitual da análise de riscos do CDF.



Fonte: Adaptada de Wegner (2019).

6.5 Análise de riscos no desenvolvimento de sistemas espaciais no INPE

Segundo Souza et al. (2022), o INPE possui um portfólio de projetos que cobre diversas áreas do conhecimento e utilizam referências de diferentes normas e padrões ou adaptações destas.

Ao mesmo tempo, não foi identificado uma padronização em nível organizacional quanto aos métodos e processos de gestão de riscos em projetos, incluindo projetos espaciais, exceto pelos conceitos e diretrizes estabelecidos na Política de Gestão de Riscos do INPE (INPE/MCTI, 2017). Segundo (GOBBI, 2020), o projeto EQUARS, considerado uma missão espacial científica em desenvolvimento do INPE, utiliza um processo de gerenciamento de riscos adaptado da ECSS (ECSS, 2008), representado na Figura 6.3.

Portanto, não há uma base de comparação entre os processos de gerenciamento de riscos no nível organizacional do INPE com outras organizações do setor espacial, pois o INPE utiliza adaptações de processos com referência aos padrões de outras organizações de reconhecida maturidade e sucesso na área espacial (e.g., ESA, NASA).

Entretanto, especificamente para a fase conceitual de projetos espaciais, o INPE possui um centro de engenharia simultânea, o Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais (CPRIME), criado em 2013 (CHAGAS et al., 2019). Este centro é um ambiente integrado de projeto e análise conceitual de missões espaciais que utiliza a abordagem de engenharia simultânea. O ambiente inclui uma infraestrutura e modelos computacionais dedicados para a realização dos estudos conceituais de missões espaciais.

Quando um estudo é solicitado, um time de especialistas é mobilizado para a atividade por um determinado período (tipicamente entre duas semanas a três meses) e o trabalho é realizado seguindo um processo estabelecido.

A disciplina risco é parte integrante do processo e tem como objetivo principal a consolidação dos riscos identificados ao longo do desenvolvimento de um estudo. Neste modelo, a disciplina risco utiliza um processo adaptável e uma ferramenta de registro compartilhada de informações para identificar, avaliar e comunicar os riscos. O processo utiliza intensa comunicação, integração e verificação das informações geradas de outras disciplinas técnicas e programáticas para a adequada captura, avaliação e registro dos riscos. Ao final de um estudo, a disciplina risco consolida todas as informações da análise de riscos na forma de um relatório utilizando a política de risco aplicável ao estudo e eventuais requisitos provindo dos stakeholders.

O detalhamento dos processos, histórico sobre os desenvolvimentos da disciplina risco e as adaptações necessárias para a utilização do método de avaliação da maturidade de riscos (proposto nesse trabalho) são apresentados no Apêndice M.

6.6 Outros métodos para análise de risco na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais

Outros métodos propostos para a análise de riscos na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais são identificados na literatura. Entretanto, métodos de análise de risco que especificamente estão relacionados a aplicações práticas em ambientes de Engenharia Simultânea de outras

organizações (exceto NASA e ESA) não foram encontrados na revisão de literatura realizada. A Tabela 6.2 apresenta a descrição e caracterização dos principais métodos encontrados na revisão de literatura. Em sua maioria, são métodos desenvolvidos e empiricamente aplicados em ambiente acadêmico, exceto o DDP e ACERT da NASA.

Assim como o DDP, relatado em Hihn et al. (2010), a maioria dos métodos desenvolvidos para a análise de risco na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais, tem aplicação limitada no ambiente de Engenharia Simultânea, principalmente devido à complexidade, necessidade de informações detalhadas e o consumo de tempo necessário para sua aplicação. Nota-se também que os métodos são quantitativos e não apresentam explicitamente como as incertezas epistêmicas são tratadas, mesmo que exista o reconhecimento e importância deste tipo de incerteza na fase conceitual (e.g., (COOPER, 2011)).

Tabela 6.2 - Métodos de análise de riscos propostos para a fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

Método	Descrição
<i>Defect Detection & Prevention (DDP)</i>	É um modelo baseado em custo-benefício para avaliações quantitativas de risco para o gerenciamento de riscos, aplicável nas fases iniciais do ciclo de vida utilizando árvores de modo de falha e requisitos da missão como as principais fontes de informação (CORNFORD; FEATHER; HICKS, 2001);(FEATHER; CORNFORD, 2003). Segundo (HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2010) o DDP perdeu atenção quanto aplicabilidade em ambientes de engenharia simultânea devido o tempo necessário e dificuldade prática de implementação da ferramenta.
<i>Risk and Uncertainty Based Concurrent Integrated Design Methodology (RUBIC)</i>	O RUBIC é um método probabilístico para tomada de decisões baseadas em risco (<i>risk-based</i>) com alocação de recursos para mitigação de riscos e objetivo de minimizar o risco esperado do sistema como um todo (FARHANG MEHR; TUMER, 2006).
<i>Expected Productivity-based Risk Analysis (EPRA)</i>	O EPRA é um método para auxiliar as decisões de projeto (<i>design</i>) em trades de arquitetura para superar as perspectivas restritas de avaliação de riscos baseadas em confiabilidade com a integração de parâmetros de desempenho do sistema e confiabilidade em modelagem probabilística do valor esperado da produtividade (<i>productivity</i> – o quão bem o design está atendendo os requisitos e objetivos científicos de uma missão) total do sistema (WERTZ; MILLER, 2006);(WERTZ; LARSON, 2011).
<i>Risk trading vector method</i>	O método de vetorização do risco considera balancear os riscos no mesmo nível de outras variáveis críticas do nível de sistema com a integração de modelos de risco aos modelos dinâmicos dos subsistemas (VAN BOSSUYT; TUMER; WALL, 2013).
<i>Function–Failure Design Method (FFDM) / Risk in Early Design (RED)</i>	O FFDM é uma abordagem de mapeamento matemática para auxiliar o desenvolvimento da fase conceitual de projeto (<i>design</i>) que conecta o modelo funcional do produto com as potenciais falhas, gerando as avaliações preliminares de risco. A aplicação dessa abordagem mostra o potencial de falhas do produto para auxiliar projetistas no desenvolvimento de estratégias de mitigação ou formas de evitar as falhas (TUMER; STONE, 2003); O RED estende o FFDM para relacionar funções do produto à falhas e posteriormente à análise de riscos preliminares, enquanto o FFDM resulta em potenciais falhas dos produtos. No RED os riscos não contêm apenas informações de falhas, mas também disponibiliza uma hierarquia de dados função-falha relacionando as probabilidades e consequências de falhas. (LOUGH; STONE; TUMER, 2009).
<i>Expert elicitation for engineering design risk analysis</i>	Propõe um método quantitativo para representar os vieses e calibrações realizados por engenheiros durante análise de riscos probabilísticos (<i>probabilistic thinking</i>). O método utiliza a quantificação da tendência de um especialista em sub ou sobre-estimar os parâmetros técnicos e gera um coeficiente de calibração que modifica as distribuições propostas pelo especialista no modelo do fenômeno relacionado (BABUSCIA; CHEUNG, 2014); (BABUSCIA; CHEUNG, 2013).
<i>Advanced Concepts Evaluating Risk Tool (ACERT)</i>	O ACERT é uma ferramenta compartilhada de análise de risco utilizada no Advanced Concepts Office (ACO) do Marshall Spaceflight Center (MSFC) da NASA, que permite a flexibilidade de identificação e agrupamento de riscos baseado no processo RIDM da NASA. A ferramenta guia cada especialista de disciplina através de uma série estruturada de questões (normalmente múltipla-escolha) que são gerenciadas pelo responsável da disciplina risco (a partir de um conjunto pré-estabelecido de fontes de risco utilizando identificação baseada em taxonomia) e utiliza as respostas para sugerir os riscos. O ACERT utiliza como input a estrutura de decomposição do sistema (SBS), informações gerais sobre a missão e uma lista sequencial das operações principais da missão. A ferramenta utiliza o conceito de valor esperado, onde a probabilidade de ocorrência (0-1) é multiplicada por um valor de consequência medido em unidades de perda (medida linear) (FABISINSKI; MAPLES, 2010); (MULQUEEN; MAPLES; FABISINSKI, 2012).

Fonte: Produção do autor.

7 FUNDAMENTOS DO MÉTODO PARA AVALIAR A MATURIDADE DE RISCOS E INCERTEZAS

O método de identificação, avaliação e comunicação da maturidade de riscos e incertezas proposto neste trabalho consiste em um método prescritivo que tem como objetivo suportar tomadas de decisão informadas ao risco (*RIDM*) em projetos de sistemas espaciais, com foco na fase conceitual do desenvolvimento. O método é suportado por um novo conceito integrativo de maturidade de riscos e propõe um conjunto de atividades para sua implementação, na forma de um método auxiliar a ser incorporado ao processo de análise ou gerenciamento de riscos de uma organização ou contexto específico.

O conceito de maturidade de riscos (*iRM – individual risk maturity*) integra diferentes naturezas de aspectos em sua formação, permitindo que a sua forma de expressão (*iRML – individual risk maturity level*) seja utilizada como meio de comunicação para informar aos stakeholders (observadores ou tomadores de decisão) a maturidade de um determinado risco e suas componentes.

A forma do *iRML* e a sua composição são padronizados, provendo um indicador de comparação entre os riscos. A distinção entre o conceito *iRM* e como ele é expresso (*iRML*) é suportado na literatura pela teoria de medidas (*measurement theory* (AVEN, 2017a)) e também é aplicado nas definições da área de análise de riscos (SRA, 2018a) de forma a evitar desentendimentos conceituais.

A aplicação do método proposto neste trabalho provê informações sobre os riscos e incertezas associadas, de forma que permitam aos stakeholders a realização de avaliação e julgamentos próprios (i.e., de acordo com Paté-Cornell (2007), apresentado na introdução do Capítulo 4) sobre os fundamentos que suportaram a identificação e avaliação de riscos individualmente.

A vasta literatura sobre o assunto de análise de riscos e a sua intrínseca característica de multidisciplinariedade dispõe de diferentes contribuições e visões para o entendimento do conceito risco, além de formas alternativas para lidar com riscos e incertezas no desenvolvimento prático das atividades humanas. Segundo Borgonovo et al. (2018) e Klinke et al. (2021) as pesquisas tem evoluído para a integração de teorias e práticas de diferentes áreas de

conhecimento, formando um entendimento comum e aproveitando as vantagens e conhecimentos disponibilizados de cada uma das áreas para a formação de novos métodos, conceitos e ferramentas integrativas.

A fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais, especialmente em ambientes de engenharia simultânea, possui características singulares, como a disponibilidade de poucos dados e informações, resultados de modelos em alto nível (normalmente paramétricos), alto nível de incertezas, ambiente altamente dinâmico, iterativo e sob pressão de tempo. Os métodos formais que geram dados para a análise de riscos nas fases de projeto (e.g., PRA, FMEA, ETA, FTA) normalmente não são aplicáveis, havendo maior necessidade do uso de análises qualitativas de risco. Portanto, as análises são baseadas, algumas vezes exclusivamente, na experiência e no conhecimento dos especialistas e do ambiente no qual se inserem. Aliado à essas características, sistemas espaciais são intrinsecamente complexos, integram tecnologias ainda não existentes ou em desenvolvimento e são desenvolvidos em organizações de complicadas estruturas.

Neste cenário, a análise de riscos realizada com o objetivo de informar tomadas de decisões e os futuros desenvolvedores do projeto necessita capturar e efetivamente comunicar, além dos aspectos técnicos, elementos de natureza subjetiva, de domínio de outras áreas do conhecimento (i.e., epistemologia, ciências da tecnologia, psicologia, ciências sociais e administração) que suportam e dão embasamento aos resultados da análise de riscos.

O conceito integrativo iRM proposto neste trabalho inclui os aspectos de i) maturidade do conhecimento subjacente ao risco, da ii) maturidade do projeto e tecnologias, dos iii) aspectos psicológicos e socioculturais de risco (relacionado a teoria de tomada de decisões) e iv) da maturidade dos aspectos organizacionais, conforme representado na Figura 7.1.

Em geral, as organizações do setor espacial têm os seus processos, métodos, ferramentas e definições para o gerenciamento e análise de riscos estabelecidos. Muitas vezes utilizam padrões próprios ou de organizações de referência de forma normativa (AVEN; YLÖNEN, 2019).

Figura 7.1 - Representação do conceito iRM em diagrama de Veen.



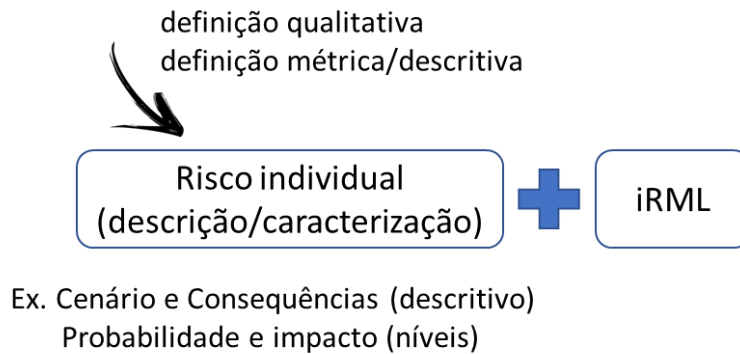
Fonte: Produção do autor.

O método aqui proposto visa complementar a análise de riscos, ao gerar informações adicionais aos resultados (i.e., maturidade dos riscos individualmente). Portanto, a avaliação do iRML é realizada independentemente dos conceitos qualitativos e quantitativos adotados pela organização ou contexto de aplicação. Essa independência conceitual somente é possível devido à natureza dos elementos integrados no conceito iRM e a não interferência do processo de avaliação do iRML na avaliação de risco originalmente utilizada no contexto de aplicação. Ou seja, a avaliação do iRML apenas reflete as características da identificação e avaliação de um risco, sem modificar ou alterar o julgamento do risco (e.g., em um contexto de *risk triplet*, a probabilidade de ocorrência e impacto do risco são independentes e o iRML pode assumir qualquer magnitude), conforme ilustrado na Figura 7.2.

Com a generalidade dos aspectos de maturidade que compõe o conceito iRM, discussões são apresentadas quanto à aplicabilidade do método em outros contextos, como o gerenciamento contínuo de riscos e outras naturezas de projetos. Entretanto, o iRM utiliza elementos conceituais relacionados à

incertezas epistêmicas ou, mais especificamente, conforme o modelo proposto por Thunnissen (2003) (ver Seção 3.2.2), as incertezas epistêmicas, de ambiguidade e iterações.

Figura 7.2 – Ilustração da independência da caracterização do risco e do iRML.



Fonte: Produção do autor.

O método está fundamentalmente estruturado conforme a visão dual entre fatos e valores (*the dual risk thesis* (KLINKE; RENN, 2002; HANSSON, 2010), permitindo sua aplicabilidade em diferentes contextos. Assim, a organização ou contexto que se destina a aplicar o método aqui proposto deve, minimamente, não refutar a existência de incerteza de natureza subjetiva. Ou seja, a organização ou contexto não deve ter o posicionamento filosófico de extremo realismo (i.e., *strong realist* (GOERLANDT; MONTEWKA, 2015b)).

Segundo Lacerda et al. (2013), um método é definido como o conjunto de passos usado para executar uma tarefa, baseia-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Utilizando essa definição, os elementos do método desenvolvidos neste trabalho estão apresentados no texto conforme indicado na Tabela 7.1.

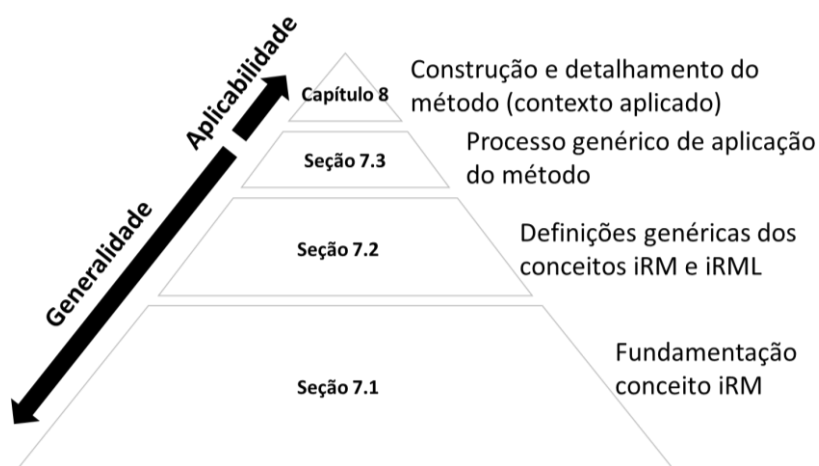
A fundamentação, as definições dos conceitos iRM e iRML e uma estrutura de atividades genérica para aplicação do método são apresentados nas Seções 7.1, 7.2 e 7.3, respectivamente. Enquanto o método detalhado desenvolvido para aplicação no contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais é apresentado no Capítulo 8. A Figura 7.3 ilustra a estrutura lógica de apresentação destes elementos no texto.

Tabela 7.1 – Distribuição de apresentação dos elementos do método desenvolvido.

Elemento do método segundo Lacerda et al. (2013)	Genérico	Aplicado ao contexto	
		híbrido	descritivo escala/estratificado
Constructos subjacentes (linguagem)	definições conceituais do iRM e iRML Seção 7.2	definições gerais Capítulo 8 definições detalhadas Seções 8.1.1 a 8.1.4	definições gerais Capítulo 8 definições detalhadas Seção 8.2
Representação (modelo)	componentes do iRM Seção 7.1	modelo integrado Seção 8.1.5 submodelos Seções 8.1.1 a 8.1.4	modelos descritivos Seção 8.2
Conjunto de passos (processo)	processo genérico Seção 7.3	processo adaptado ao CPRIME / INPE Apêndice M	processos (lógica) Seção 8.2
Tarefa	Classe de problemas: provimento do nível e elementos de informação apropriados da análise de riscos para prover suporte em RIDM em situações de grande incerteza.	Avaliar, caracterizar e comunicar a maturidade de riscos e incertezas em ambientes de engenharia simultânea para prover suporte RIDM.	

Fonte: Produção do autor.

Figura 7.3 – Estrutura lógica e conteúdo do texto.



Fonte: Produção do autor.

7.1 Fundamentação do conceito iRM (*individual Risk Maturity*)

O iRM tem como fundamento a integração de diferentes aspectos que formam ou influenciam a maturidade de um risco, incluindo elementos relacionados à análise do risco em si e do contexto da realização da análise do risco. A definição dos aspectos de composição do iRM é o resultado de extensa revisão de literatura realizada nesta pesquisa com relação aos desafios fundamentais da disciplina Análise de Riscos e o problema tratado nesta Tese, formando o conjunto de elementos componentes desse conceito. Genericamente, o conceito iRM proposto é composto pelos seguintes aspectos:

- a) Conhecimento subjacente à identificação e avaliação do risco e incerteza(s) associada(s) como, por exemplo: nível de experiência do especialista que identificou e avaliou o risco, características dos dados e informações que suportam a análise do risco;
- b) Maturidade da atividade no qual o risco está relacionado, com ênfase em algum aspecto de interesse como, por exemplo: o nível da tecnologia relacionada ao risco em determinada maturidade da solução de um projeto;
- c) Aspectos psicológicos humanos e socioculturais ao risco como, por exemplo: percepção e comportamento ao risco do especialista que identificou e avaliou o risco;
- d) Aspectos do contexto organizacional que afetam direta ou indiretamente a maturidade dos riscos como, por exemplo: cultura e processos organizacionais de gerenciamento de risco.

A formação genérica do iRM considera aspectos de diferentes naturezas em sua composição, de forma a ser reconhecido como um conceito integrativo (AVEN, 2016c). A integração de conceitos e criação de novos métodos é uma necessidade reconhecida nas pesquisas da área de análise de riscos desde Covello (1983) e Linstone (1981). Enquanto Linstone (1981) afirma que pesquisas que ignoram ou excessivamente enfatizam uma das três perspectivas: psicológica, técnica ou organizacional são consideradas menos úteis do que aquelas que buscam uma análise integrada.

Martin (2009) define o pensamento integrativo como a habilidade de construtivamente encarar a tensão de modelos opostos e, ao invés de escolher um único modelo às custas de outro(s), gerar uma solução criativa na forma de um novo modelo que contém elementos dos modelos individuais, mas superior a cada um deles.

Segundo Klinke et al. (2021), abordagens integrativas associam questões de racionalidade e processos intuitivos humanos em abordagens holísticas para solução de problemas complexos, como a análise de riscos (i.e., inclusive reconhecido como *wicked problems* em (WILSON; ZWICKLE; WALPOLE, 2019)). Os autores afirmam que integração de aspectos psicológicos e socioculturais com os conceitos das ciências naturais ampliam o fundamento dos conceitos e incluem características importantes para o tratamento de riscos.

Outros trabalhos como Gould (2021), Borgonovo et al. (2018) e Aven (2018d) apontam a existência de diversos esforços recentes no desenvolvimento de conceitos e métodos para incluir aspectos sociais e psicológicos em modelos de análise de risco integrados. Ainda, Klinke et al. (2021) declaram que a sociedade contemporânea somente pode progredir em direção ao desenvolvimento sustentável se estes aspectos forem incorporados nos conceitos e tratamentos de risco.

O conceito iRM também está alinhado com a expansão da perspectiva de risco, conforme apresentado em diversos trabalhos (e.g., (AVEN, 2013a; AVEN; KROHN, 2014; GLETTE-IVERSEN; AVEN, 2021), que visa enfatizar elementos de conhecimento, incertezas e surpresas nas definições e abordagens de tratamento de riscos (ver Seção 3.3).

Segundo Jensen e Aven (2018), conhecimento é entendido como crenças justificadas (i.e., *justified beliefs*) e é fundamentado em dados, informação, modelos e argumentação (e.g., *data information knowledge wisdom* - DIKW (AVEN, 2013b)). O conhecimento é parte integrante de formação do conceito iRM, que suporta a análise de um risco e incertezas associadas e forma o seu entendimento (i.e., *risk understanding* (AMUNDRUD; AVEN, 2015)). Enquanto incertezas e aspectos relacionados às surpresas são direta ou indiretamente

relacionados a todos os componentes do iRM. Estes relacionamentos serão explorados e ficam evidentes no detalhamento de formação do conceito iRM e sua forma de expressão iRML para o contexto deste trabalho.

7.2 Definições do conceito Maturidade do Risco Individual (iRM) e sua forma de expressão (iRML)

O conceito iRM é definido como:

Conceito integrativo de aspectos que influenciam um risco individual com respeito à maturidade do conhecimento, maturidade da atividade e aspecto de interesse, aspectos psicológicos humanos e socioculturais, e maturidade do contexto organizacional.

A forma de expressão iRML é definida genericamente como:

Nível da maturidade de um risco individual em termos dos aspectos que influenciam a maturidade do risco declarado ou percebido.

Nas duas definições, risco individual é apresentado para claramente definir o objeto a que se refere a maturidade em avaliação. A expressão risco individual é utilizada para delimitar a aplicabilidade do conceito e a sua forma de expressão individualmente para cada risco declarado ou unitariamente considerado, mas respeitando o conceito risco adotado em um determinado contexto.

O iRML é entendido como o estado ou condição de um risco individual que representa os fundamentos que suportam a sua existência, quanto à identificação e avaliação. A obtenção do iRML parte da construção de um modelo multidimensional (*multidimensional construct*), conforme definição apresentada em Nyre e Jaatun (2013) e Jarvis et al. (2003), que combina as expressões de seus componentes, normalmente constituídos de submodelos (*sub-constructs*), e forma uma única representação ou conjunto de informações coerente.

No capítulo 8, o iRML para aplicação ao contexto de análise de riscos em ambientes de engenharia simultânea em estudos conceituais de missões

especiais é desenvolvido de duas formas diferentes, mas consistentes aos conceitos genéricos aqui definidos.

7.3 Processo de avaliação da maturidade de riscos para auxiliar RIDM

As atividades necessárias para utilização do método de avaliação de maturidade de riscos devem ser adaptadas e integradas ao processo corrente de gerenciamento ou de análise de riscos da organização ou contexto destinado ao uso do método.

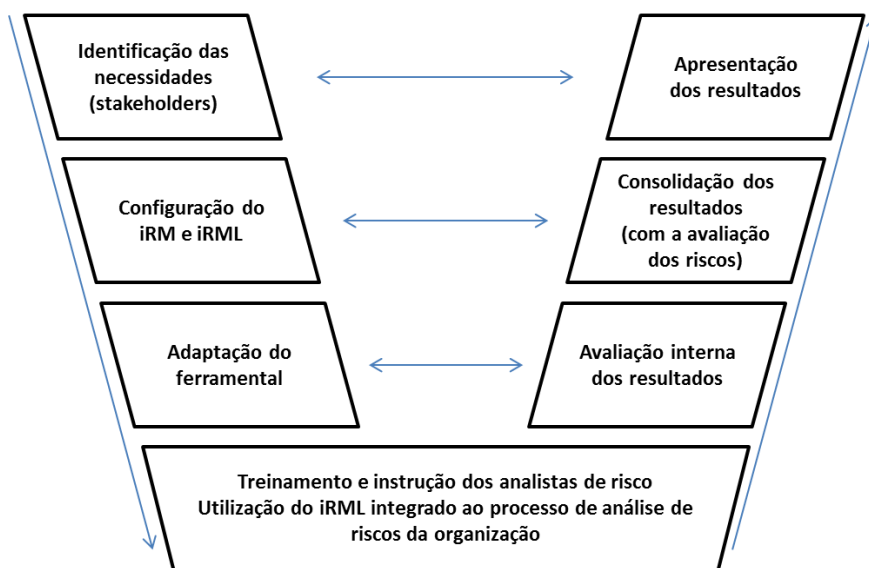
A estrutura deste conjunto de atividades considera duas fases distintas, em termos de direção do nível de integração. A primeira fase tem comportamento *top-down*, enquanto a segunda fase tem comportamento *bottom-up*, conforme apresentado na Figura 7.4.

A fase *top-down* consiste na identificação das necessidades dos stakeholders (e.g., tomadores de decisão a serem informados aos riscos) quanto à utilização do iRM e iRML. As necessidades principais estão relacionadas ao nível de detalhamento desejado de comunicação da maturidade dos riscos, da forma de registros e importância dos elementos componentes do iRML. Estas necessidades são capturadas, traduzidas e aplicadas na configuração do iRM e iRML, na adaptação das ferramentas e processos e, possivelmente, das interfaces de análise de riscos utilizadas no contexto de aplicação.

A primeira fase avança de forma decrescente em termos de nível de integração, ou seja, iniciando pela definição do nível global do conceito iRM e iRML até o nível de maior granularidade (i.e., componentes do nível hierárquico mais baixo do modelo). O mais baixo nível da estrutura de atividades consiste no treinamento e instrução do processo de avaliação da maturidade e uso de ferramentas aos especialistas que irão realizar a análise.

A realização da avaliação do iRML se dá de forma *bottom-up*, representado pela parte direita do modelo vê, onde os atributos de mais baixo nível de julgamento são avaliados (i.e., de acordo com uma estratégia de responsabilidades) e agregados para formação do iRML para cada risco.

Figura 7.4 - Modelo em Vê das atividades a serem incorporadas ao processo da organização destinada ao uso do método de avaliação do iRML.



Fonte: Produção do autor.

Após a avaliação dos iRMLs, uma análise interna dos resultados é realizada para confirmação ou preenchimento de eventuais lacunas deixadas nas etapas anteriores. Os resultados de iRML seguem para a consolidação e integração com os demais elementos da análise de riscos realizada no contexto de aplicação (e.g., elementos descritivos e julgamento de probabilidade e impacto).

No final do processo, a apresentação dos resultados é consolidada conforme as diretrizes do contexto de aplicação, (e.g., registros em relatórios ou outras formas de apresentação dos resultados aos stakeholders). Esta atividade é considerada crítica pois é durante a comunicação (AVEN, 2018b) que a maturidade dos riscos fica registrada para posteriormente suportar tomadas de decisão ou servir a outros propósitos de uso.

A estrutura de atividades apresentada pode ser utilizada para diferentes contextos e aplicações, servindo como modelo genérico requerido para utilização do iRM e iRML. Um detalhamento maior das etapas é apresentado no Apêndice H, com ênfase para o iRML em formato multi-elementos (denominado híbrido).

8 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE DE RISCOS PARA FASE CONCEITUAL DO DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPACIAIS

O método de avaliação de maturidade de riscos desenvolvido para aplicação em estudos conceituais de missões espaciais, no contexto de análise de riscos em ambientes de engenharia simultânea (denominado cenário), é descrito e detalhado neste capítulo.

Por tratar-se de um método auxiliar ou complementar à análise de riscos já realizada no contexto em que se pretende aplicá-lo, não há uma definição própria para risco e outros termos relacionados a ser explicitamente definida, pois o método deve ser aplicável em contextos que utilizem diferentes conceitos.

A construção do conceito iRM e do modelo iRML refletem as influências do contexto, as necessidades identificadas para suportar RIDM e os aspectos relacionados à teoria de análise de riscos.

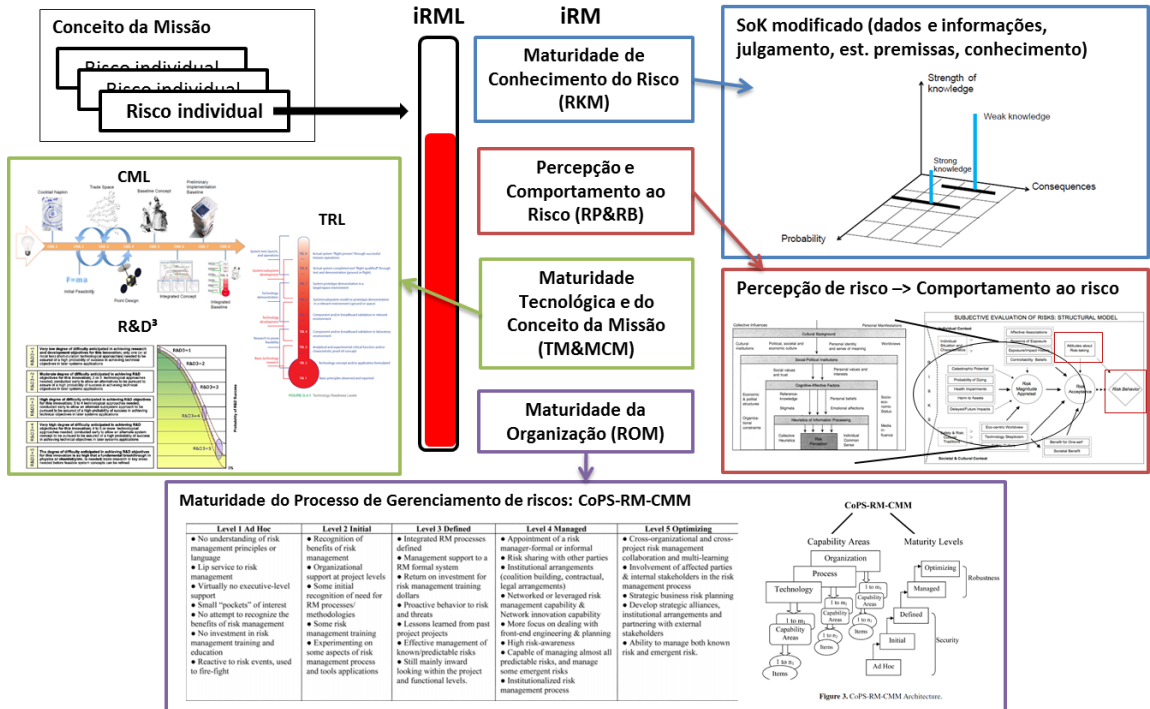
Os quatro elementos formadores do iRM são definidos como a maturidade de conhecimento do risco (*Risk Knowledge Maturity - RKM*), percepção e comportamento ao risco (*Risk Perception and Risk Behavior - RP&RB*), maturidade tecnológica e do conceito da missão (*Technological Maturity and Mission Concept Maturity - TM&MCM*) e a maturidade da organização (*Risk Organizational Maturity - ROM*). A Figura 8.1 mostra uma representação da composição do iRM como formadores do iRML, em analogia de um termômetro.

O conceito iRM e a sua expressão iRML estão relacionados com os diferentes elementos do contexto de realização de um estudo conceitual de missão espacial e avaliam características em diferentes níveis de abstração, assim como defendido por diferentes autores como Stanton e Roelich (2021) e Cuppen et al. (2021) para métodos DMDU (ver Seção 3.3.1).

A Figura 8.2 apresenta uma visão macro os relacionamentos diretos e indiretos (representado por setas indicativas) entre os elementos de contexto e os aspectos de composição do iRM. As setas indicam que a formação ou julgamento dos elementos do iRML dependem de informações ou características dos elementos de contexto, onde a utilização direta de alguma informação ou estado de atributo de um elemento do contexto caracteriza os relacionamentos

diretos, enquanto a utilização para julgamento ou análise, sem a incorporação da informação inicial na medida final, caracteriza os relacionamentos indiretos.

Figura 8.1 - Representação do conceito iRM e iRML para a fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.



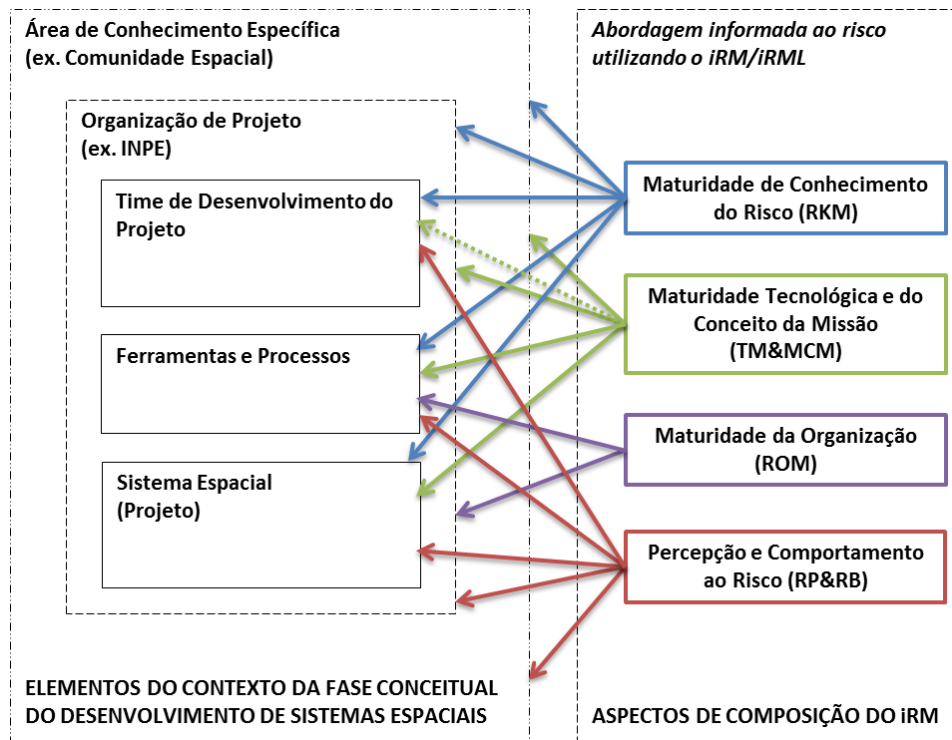
Fonte: Produção do autor.

Algumas simplificações são assumidas para esta representação como a premissa que todos os integrantes de um time de projeto pertencem a uma única organização e esta é a mesma executora do projeto conceitual. Assim como a simplificação relacionada aos elementos de mais baixo nível como, por exemplo, o desdobramento do elemento de ferramentas e processos de acordo com o seu objetivo de análise (e.g., modelos ou softwares que geram dados) ou de busca de informações (e.g., base de dados, bases bibliográficas de origem dos dados e informações).

A Figura 8.3 apresenta os elementos do contexto considerados para a definição detalhada do iRML, quanto aos aspectos do risco individual, do conceito de missão sob análise (i.e., projeto e tecnologias envolvidas), das ferramentas e processos, do avaliador do risco (i.e., indivíduo que identifica e avalia o risco, do

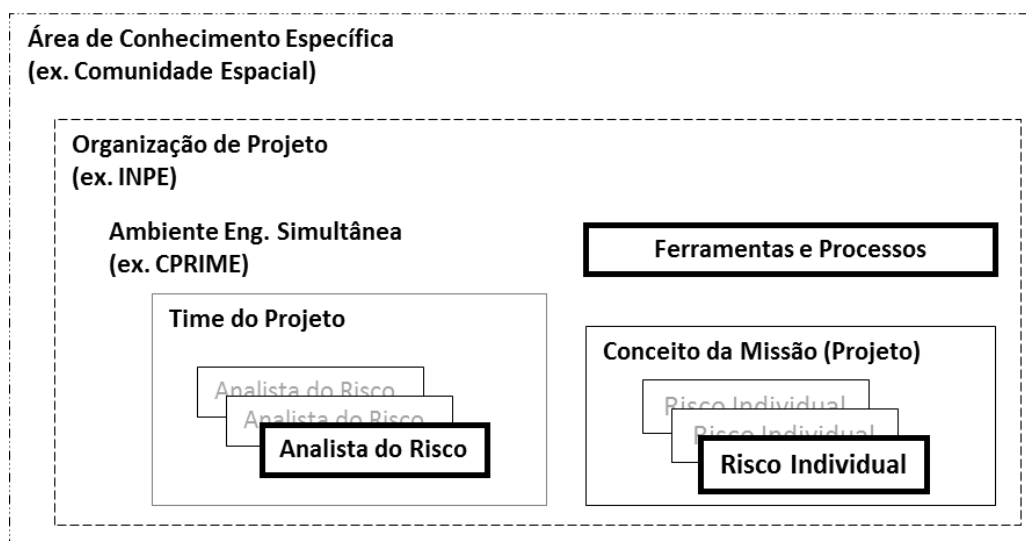
inglês *risk assessor*) e sua integração ao time de projeto e os elementos organizacionais hierarquicamente organizados.

Figura 8.2 - Relacionamentos entre os elementos de contexto e os aspectos de composição do iRM e sua forma de expressão iRML.



Fonte: Produção do autor.

Figura 8.3 - Elementos do contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea.



Fonte: Produção do autor.

O iRML é desenvolvido neste trabalho em duas formas principais. Na primeira, o iRML é uma métrica composta (abordagem híbrida), partindo da avaliação de atributos individualmente, integrando os resultados conforme um modelo hierárquico não uniforme (constructo multidimensional) até a consolidação das informações em um conjunto de elementos gráficos para comunicação. Os diferentes elementos gráficos apresentam informações numéricas (semi-quantitativas⁴) e descritiva (textual) devido a impossibilidade ou incoerência de sua representação em uma forma singular de expressão do iRML.

Aven (2017a) afirma que a escolha de abordagens puramente quantitativas apresenta grandes desafios com relação à representação e tratamento de todos os tipos de riscos e incertezas, principalmente com o uso de probabilidades (i.e., interpretações), além de gerar limitações, por exemplo, na incorporação de aspectos de conhecimento.

A segunda forma desenvolvida de iRML (denominada abordagem descritiva), possui duas abordagens distintas. A primeira, denominada de iRML em escala, consiste em cinco níveis discretos de maturidade, utilizando um modelo descritivo de cada nível de maturidade (similar ao TRL). A avaliação do iRML escala consiste no julgamento direto da adequação das características do risco sob análise com a caracterização dos diferentes níveis de iRML do modelo.

A segunda abordagem de iRML descritivo, denominada estratificada, avalia os riscos a partir dos aspectos de maturidade do iRM individualmente sem integrá-los, também em cinco níveis de maturidade, com referência a um padrão descritivo estabelecido. O resultado dessa avaliação gera quatro níveis independentes de maturidade e evita o julgamento integrado do iRML, provendo maior detalhamento quando comparado à abordagem em escala e minimizando conflitos de julgamento não convergentes.

A utilização do iRM e sua expressão iRML enfrentam problemas similares aos conceitos de modelos de maturidades e figuras de mérito como, por exemplo, o

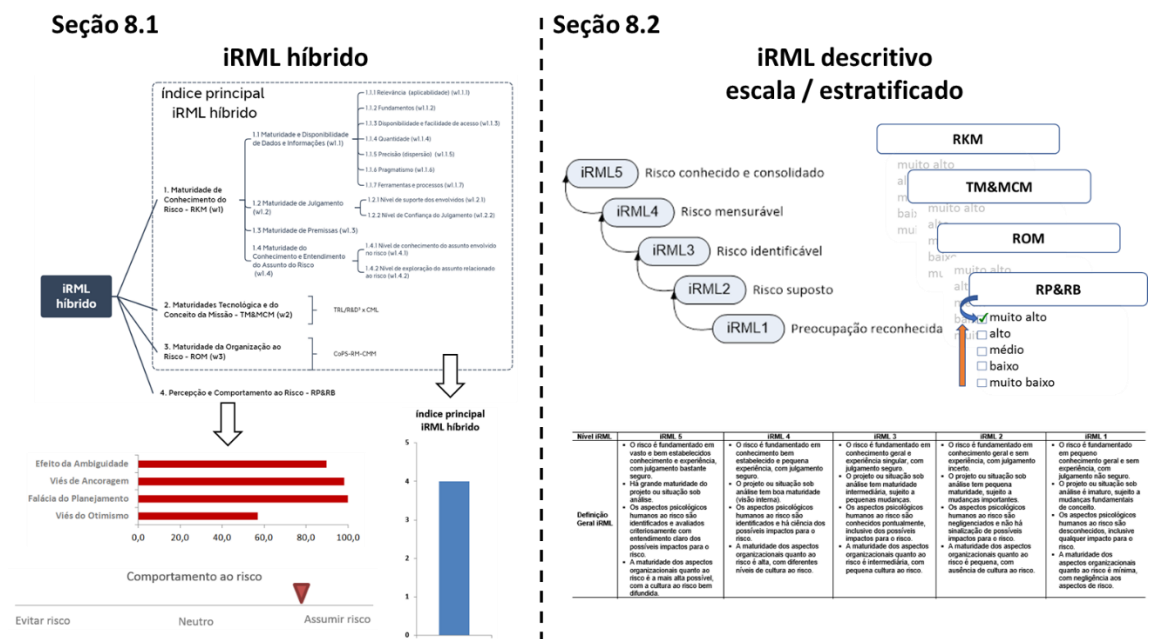
⁴ Na área de pesquisa de ciências sociais, as abordagens semiquantitativas estão localizadas entre os limites de subjetividade e quantificação. Onde os métodos semiquantitativos fazem pouco uso de ferramentas matemáticas, mas proveem informações qualitativas em forma numérica (KOSTOFF, 1993). Aven (2017a) defende a utilização de medidas semiquantitativas para a caracterização de riscos, dado o reconhecimento que riscos não podem somente ser caracterizados somente por números.

TRL. A NASA (NASA, 2016a) afirma que uma dificuldade primária na utilização do TRL é a terminologia, quanto ao significado de termos e o senso de dimensão de atributos vagos. Assim, as definições dos elementos e subelementos constituintes do iRML são estabelecidos detalhadamente neste trabalho para permitir avaliações e entendimento uniformes.

As definições e características dos elementos de composição do iRM, as formas de expressão iRML, fundamentação e propósito (importância) de composição no iRM são apresentados na Tabela 8.1.

O detalhamento da abordagem híbrida do iRML, considerando os conceitos, modelos e fundamentação são apresentados na Seção 8.1 e suas subseções. O iRML na forma descritiva (i.e., incluindo as abordagens escala e estratificada) é apresentado na Seção 8.2, conforme ilustrado na Figura 8.4.

Figura 8.4 - Relacionamentos entre os elementos de contexto e os aspectos de composição do iRM e sua forma de expressão iRML.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 8.1 - Definições, formas de expressão, fundamentação e propósitos dos componentes do iRM.

Maturidade de Conhecimento do Risco (RKM)	
Definição Qualitativa	Consiste no conhecimento que suporta a identificação e a avaliação do risco e incerteza(s) associada(s), através dos fatores de maturidade e disponibilidade de dados e informações; maturidade de julgamento; maturidade de premissas; maturidade do conhecimento e entendimento do assunto/fenômeno.
Formas de Expressão	(híbrido) nível de maturidade de conhecimento do risco (RKML) é uma medida multiatributos, que assume uma forma numérica semiquantitativa resultante da avaliação de seus componentes.
	(descritivo) descrição/caracterização dos atributos de acordo com a maturidade esperada para cada nível.
Fundamentação e propósitos	<p>O nível de conhecimento utilizado como base para a análise do risco é considerado fator de tomada de decisão de stakeholders (RIDM). Entretanto, o conhecimento que suporta a análise de riscos normalmente não é apresentado em processos tradicionais (e.g., matriz de risco). A formação do RKM representa ambos conhecimento geral e específico (<i>specific and general knowledge</i> (AVEN; KRISTENSEN, 2019)). Segundo Buratti e Albaixood (2019), a avaliação do conhecimento, comparativamente à avaliação da ignorância subjetiva, é mais apropriada, por não afetar a avaliação do risco. Diferentes arranjos dos componentes ou de conceitos similares ao RKM são reconhecidos na literatura por SoK (<i>Strength of Knowledge</i>) (BANI-MUSTAFA et al., 2020c).</p> <p>O RKM está relacionado com o conceito <i>weight of evidence (WoE)</i>, criado por J. M. Keynes (KEYNES, 1921), e representa ambas interpretações de quantidade de evidência que suporta uma proposição e o grau de completude da informação (FEDUZI, 2010)(2010).</p>
Percepção e Comportamento ao Risco (RP&RB)	
Definição Qualitativa	Representa os aspectos psico-cognitivos humanos e socioculturais com potencial de impactar os resultados análise de risco. O comportamento ao risco consiste na forma em que o avaliador do risco age diante de um risco, enquanto a percepção do risco é o julgamento subjetivo ou a captura perceptiva (mental) do risco e da sua avaliação.
Formas de Expressão	(híbrido) estado descritivo de comportamento ao risco entre evitar e assumir riscos e os índices numéricos, semiquantitativos [0-100] representando a possibilidade de existência de cada um dos vieses investigados.
	Obs. Formas de representação neutras são utilizadas, pois não há um sentido de julgamento para certo/errado ou melhor/pior ou uma forma ordinal para as características psico-cognitivas, além do fato que formas numéricas “objetivas” não são recomendadas por não representar de forma significativa características psicológicas e das ciências sociais (LERMER; STREICHER; RAUE, 2018).
	(descritivo) descrição/caracterização dos atributos de acordo com a maturidade esperada para cada nível.

continua

Tabela 8.1 – Continuação.

Percepção e Comportamento ao Risco (RP&RB)	
Fundamentação e propósitos	<p>As características de comportamento e percepção ao risco são tratadas conjuntamente no RP&RB pois possuem a mesma origem e fundamentos na psicologia humana ao enfrentar situações que envolvem riscos e incertezas.</p> <p>Os aspectos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão sob incerteza tradicionalmente são aplicados somente para os tomadores de decisões em modelos típicos de RIDM, entretanto, para o RP&RB considera-se que o avaliador do risco realiza múltiplas decisões durante a análise de um risco, portanto está sujeito aos mesmos fenômenos e potenciais distorções em suas decisões.</p> <p>Os aspectos de percepção e comportamento ao risco são fatores que impactam diretamente na identificação e avaliação de riscos, dado que as pessoas são influenciadas por diversos fatores pessoais e coletivos de diferentes contextos (e.g., culturais, sociopolíticos, cognitivos-afetivos e processamento mental) conforme modelo de (RENN; ROHRMANN, 2000).</p> <p>Quanto ao processamento mental, as pessoas não utilizam somente o modo cognitivo de racionalidade em julgamentos e decisões, mas também utilizam atalhos cognitivos para diminuir a carga computacional mental. Estes processos, em alguns casos, resultam em distorções e inconsistências denominados desvios heurísticos (chamados de vieses) que resultam em respostas não lógicas ou "erradas" em comparação ao modelo racionalista (SLOVIC, 1987; TRIMPOP, 1994; BERNSTEIN, 1998; KAHNEMAN, 2003a; ALTHAUS, 2005).</p>
Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão (TM&MCM)	
Definição Qualitativa	Representa a combinação dos aspectos de maturidade da tecnologia relacionada ao risco com a maturidade de evolução da solução. Neste contexto, a solução de projeto é o conceito da missão em desenvolvimento.
Formas de Expressão	<p>(híbrido) nível de maturidade tecnológica e do conceito da missão (TM&MCML) é uma medida multi-atributos que assume uma forma numérica singular, através da combinação lógica de seus componentes.</p> <p>(descritivo) descrição/caracterização dos atributos de acordo com a maturidade esperada para cada nível.</p>
Fundamentação e propósitos	<p>A maturidade do conceito de missão, objeto de um estudo de fase conceitual, pode ser categorizado em diferentes níveis de evolução (e.g., CML do IF-JPL (SHERWOOD; MCCLEESE, 2013)), assim como o nível de incerteza tecnológica gerado por um tecnologia ou conjunto de tecnologias que está(ão) relacionada(s) com o risco sob análise (e.g., R&D³, TRL (MANKINS, 2009b)). Estes fatores têm contribuição efetiva para a maturidade do risco, dado que ambas podem ter significativo potencial de mudanças na análise do risco (caracterização) realizada.</p> <p>A evolução do projeto conceitual da missão provê uma visão geral de maturidade da solução desenvolvida no momento de avaliação do risco, de forma a representar o nível de solidez (volatilidade quanto as soluções assumidas - incertezas) e a consistência (maior conhecimento, profundidade de entendimento) das decisões de solução assumidas. Enquanto a maturidade tecnológica provê uma visão específica do risco, de forma a representar as incertezas associadas à natureza tecnológica da solução(ões) relacionadas ao risco.</p>

continua

Tabela 8.1 – Conclusão.

Maturidade da Organização ao Risco (ROM)	
Definição Qualitativa	Representa a maturidade (de capacidades) da organização quanto aos aspectos de análise risco, incluindo seus processos, cultura e liderança.
Formas de Expressão	(híbrido) nível de maturidade da organização ao risco (ROML) é uma medida singular em escala ordinal (variável qualitativa) que replica o nível de maturidade avaliado no modelo CoPS-RM-CMM (YEO; REN, 2009).
	(descritivo) descrição/caracterização dos atributos de acordo com a maturidade esperada para cada nível.
Fundamentação e propósitos	A maturidade ao risco da organização (de lotação/origem do avaliador do risco) é considerada uma influência importante na aplicação de processos relacionados à análise de riscos em diversos aspectos como a cultura organizacional, adaptabilidade e robustez de processos, diversificação de estratégias e a utilização eficaz de lições aprendidas. Uma organização que preza pela cultura, processos e consciência ao risco no desenvolvimento de suas atividades é reconhecida como uma organização superior (RAZ; SHENHAR; DVIR, 2002).

Fonte: Produção do autor.

8.1 Abordagem iRML híbrido

A abordagem iRML híbrido é detalhada nesta Seção, conforme a estrutura apresentada na Figura 8.5. As subseções que apresentam cada aspecto de maturidade integrado no iRML estão estruturadas de forma a apresentar:

- a) Introdução ao aspecto de maturidade e sua fundamentação;
- b) Definição de conceitos e modelo que representa o aspecto de maturidade;
- c) Outros aspectos relevantes.

Figura 8.5 – Estrutura das seções de apresentação da abordagem iRML híbrido.



Fonte: Produção do autor.

8.1.1 Maturidade de Conhecimento do Risco (RKM)

O elemento RKM consiste na maturidade do conhecimento subjacente ao risco, que abrange o conhecimento específico, da situação e contexto sob análise, e o conhecimento geral, conforme estabelecido na comunidade científica sobre o assunto. As definições e relacionamento de conhecimento geral e conhecimentos específicos são apresentadas e discutidas em Aven e Kristensen (2019), onde os autores enfatizam a importância de refletir o conhecimento, ou

alternativamente, a falta de conhecimento subjacente aos riscos relacionado a estas duas dimensões.

Conforme apresentado na seção 3.2.5, conhecimento é um conceito complicado (*justified beliefs* (AVEN, 2018a)) e é usado como conceito central nas discussões sobre o status científico da disciplina Análise de Riscos (GOERLANDT; MONTEWKA, 2014), por estar fortemente relacionado à dicotomia de fatos e valores na análise de risco (HANSSON, 2010).

Assumindo que elementos subjetivos estão inevitavelmente presentes na análise do risco (MACGILLIVRAY, 2019) e considerando a coexistência de incertezas aleatórias e epistêmicas (*the dual risk thesis* (HANSSON, 2010)), o RKM e sua medida (RKML) tem como objetivo informar na melhor extensão possível (i.e., refutando valores não epistêmicos incontroversos (*non-epistemic uncontroversal values* (HANSSON, 2010))), os aspectos de conhecimento subjacentes ao risco e incertezas relacionadas.

As justificativas das premissas utilizadas, características dos dados e informações, concordância entre especialistas no julgamento e o nível de entendimento do fenômeno envolvido são aspectos considerados no RKM como formadores da maturidade de conhecimento de um risco, modificados quanto interpretação e detalhamento de modelos de SoK.

O RKM, diferentemente das aplicações de SoK voltados para representar as incertezas epistêmicas de modelos de PRA como Bani-Mustafa et al. (2020c) e Aven e Kristensen (2019), representa o conhecimento subjacente à uma proposição de risco de forma generalizada, incluindo a influência (positiva ou negativa) de todos os elementos do contexto direta ou indiretamente.

Ou seja, enquanto o SoK tem como objetivo representar a força de conhecimento de um risco especificamente influenciado por um modelo de PRA e suas interfaces (e.g., input de dados e características do modelo), o RKM amplifica essa visão, permitindo que outros elementos do contexto sejam considerados para a maturidade do conhecimento. Essa amplificação é necessária para o RKM pois no contexto de fase conceitual, não é comum a utilização de modelos probabilísticos para análise de riscos ou, em alguns casos, a base de

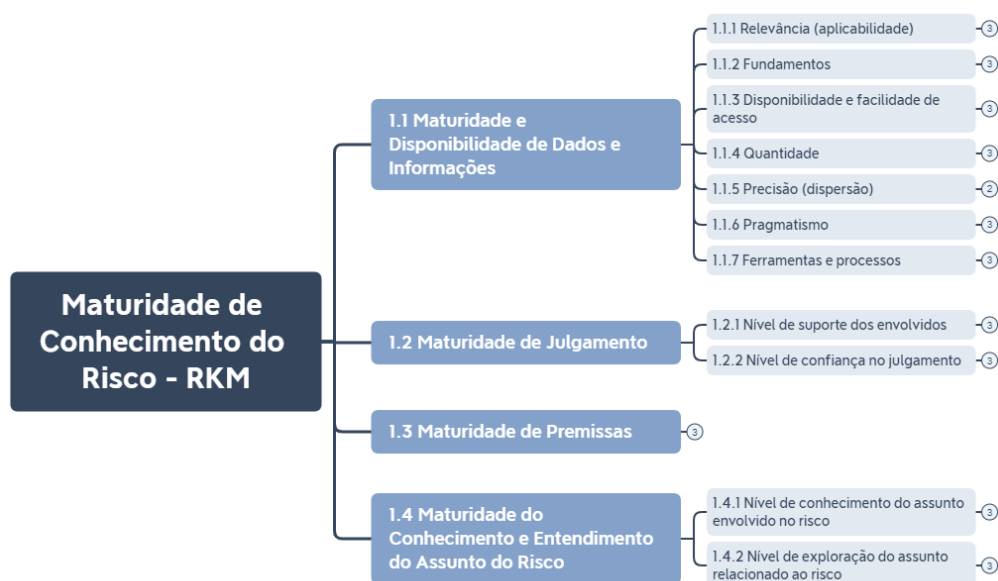
conhecimento utilizada para suportar a análise de um risco é apenas derivada de informações, não necessariamente rastreáveis, e experiência dos especialistas.

8.1.1.1 Conceitos e modelo do RKM

A partir da identificação dos principais elementos de caracterização da maturidade de conhecimento envolvidos na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais e análise dos diferentes modelos e componentes de SoK, um conjunto de conceitos e formas de medida foram propostos para a composição do RKM e RKML. Uma comparação de composição do RKM e diferentes propostas de modelo do SoK é apresentada no Apêndice I.

A Figura 8.6 apresenta a árvore de decomposição do elemento RKM, formado por quatro classes de atributos e atributos de maior granularidade. As definições e fundamentação para consideração dessas características são consolidados e apresentados na Tabela 8.2. As definições adotadas formam a base conceitual do RKM proposto e apresentam especificidades do contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

Figura 8.6 - Árvore de decomposição do elemento RKM.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 8.2 - Definições e fundamentação dos componentes do RKM.

Classe de Atributo / Atributo	Definição	Fundamentação
1.1 Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações	Conhecimento que suporta os dados e informações utilizados, formando a base da análise do risco (identificação e avaliação).	Dados e informações formam a base de conhecimento da identificação e avaliação de riscos. Segundo a hierarquia DIKW (<i>data-information-knowledge-wisdom</i>) (AVEN, 2013b) dados e informações estão na base para formação de conhecimento. Portanto, a maturidade deste conjunto provê uma medida do conhecimento subjacente de um risco. Segundo a taxonomia da NASA (NASA, 2009), dados tem origem em modelos, experimentos ou experiência em campo. Quando dados são processados, geram informações que, por sua vez, tornam-se conhecimento quando combinados com experiência e julgamento. Ainda, segundo Goerlandt e Montewka (2014), para todos os tipos de evidência, existe a possibilidade de incerteza de evidências presente em algum nível, portanto, também devem fazer parte do conhecimento que suporta um risco.
1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	Relevância dos dados e informações quanto adequação ao propósito desejado e atualidade.	A relevância ou aplicabilidade de dados e informações quanto ao propósito da análise do risco tem influência direta na maturidade do conhecimento que suporta o risco. Esse relacionamento pode ser explicado utilizando analogia ao erro estatístico do tipo II, onde um risco não aplicável ou inexistente pode ser identificado como verdadeiro através da interpretação dos dados e informações de referência, ou seja, a hipótese de existência do risco não é rejeitada. O aspecto de atualidade está relacionado ao fator temporal, visto que a mudança do conhecimento (evolução) e o amadurecimento tecnológico podem invalidar informações ou dados que, por sua vez, quando utilizados para a análise de risco, podem gerar riscos inexistentes ou avaliações inadequadas.
1.1.2 Fundamentos	Origem ou procedência dos dados e informações.	A origem ou procedência dos dados e informações impacta diretamente a força de argumentação para justificar o conhecimento que suporta a análise do risco. Dados e informações de campo que possuem aplicabilidade ou comparabilidade com o evento sob análise têm grande valor para a maturidade de conhecimento que suporta um risco. Enquanto dados e informações derivadas de experimentos (em ambiente simulado ou real) tem impacto menor, dado a possibilidade de controlabilidade das condições de contorno e representatividade.

continua

Tabela 8.2 – Continuação.

<p>1.1.3 Disponibilidade e Facilidade de Acesso</p>	<p>Disponibilidade e facilidade de acesso (por busca ou obtenção) de dados e informações.</p>	<p>A disponibilidade e a facilidade de acesso por busca (e.g., pesquisa em fontes de referência) e obtenção (e.g., geração própria de dados e informações por análise, modelos ou experimentos) são consideradas conjuntamente neste elemento por representarem o mesmo entendimento.</p> <p>A disponibilidade e a facilidade de acesso (D&FA) estão diretamente relacionadas ao conhecimento sobre o assunto específico do risco (<i>specific knowledge</i>), que inclui o conhecimento da comunidade da área (K_{SME}) e o conhecimento do avaliador do risco (K_{AR}), ou seja, quanto maior o conhecimento específico, maior é a disponibilidade e facilidade de acesso (seja por busca ou obtenção) de dados e informações.</p> <p>Por outro lado, a disponibilidade e facilidade de acesso de dados e informações são inversamente afetadas pela capacidade do processo de obtenção ou busca de dados e informações (C_{OB}) e pelo grau de proteção de informações estratégicas ou críticas (P_{ROT}) (e.g., por domínio tecnológico ou econômico-comercial), provendo uma medida da importância estratégica do conhecimento sobre o assunto específico do risco.</p> <table border="1" data-bbox="1059 635 1742 724"> <tr> <td>Conhecimento do assunto específico =</td> <td>$K_{SME} \cdot K_{AR}$</td> </tr> <tr> <td>Importância estratégica do conhecimento =</td> <td>$C_{OB} \cdot P_{ROT}$</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$D\&FA = K_{SME} \cdot K_{AR} / C_{OB} \cdot P_{ROT}$</td> </tr> </table> <p>A capacidade ou maturidade dos processos de obtenção ou busca de dados e informações é avaliada no elemento 1.1.7 Ferramentas e Processos. Enquanto o conhecimento do avaliador do risco é avaliado no elemento 1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco. Portanto, já são considerados na medida do RKML, tornando desnecessário considerá-los novamente nesta composição. Esta simplificação resulta somente na avaliação dos elementos "externos": nível de conhecimento pela comunidade da área e a importância estratégica do conhecimento quanto disponibilidade e facilidade de acesso. A composição destas características significa o balanço entre o conhecimento estabelecido na área e sua importância estratégica.</p> <table border="1" data-bbox="1059 979 1742 1011"> <tr> <td>$D\&FA = K_{SME} / P_{ROT}$</td> </tr> </table> <p>Este atributo também informa sobre potenciais surpresas (<i>gray or black swans</i> (AVEN, 2016c)), por exemplo, quando existem informações conhecidas fora do contexto de projeto mas são restritas.</p>	Conhecimento do assunto específico =	$K_{SME} \cdot K_{AR}$	Importância estratégica do conhecimento =	$C_{OB} \cdot P_{ROT}$	$D\&FA = K_{SME} \cdot K_{AR} / C_{OB} \cdot P_{ROT}$		$D\&FA = K_{SME} / P_{ROT}$
Conhecimento do assunto específico =	$K_{SME} \cdot K_{AR}$								
Importância estratégica do conhecimento =	$C_{OB} \cdot P_{ROT}$								
$D\&FA = K_{SME} \cdot K_{AR} / C_{OB} \cdot P_{ROT}$									
$D\&FA = K_{SME} / P_{ROT}$									

continua

Tabela 8.2 – Continuação.

<p>1.1.4 Quantidade</p>	<p>Quantidade de dados e informações (relacionado ao fator temporal, volume de dados e número de diferentes fontes).</p>	<p>A quantidade de dados e informações está relacionada ao fator temporal (e.g., dados de 10anos de operação, mostram o evento em todas as vezes que ocorre a mesma circunstância), volume de dados (e.g., número de medidas ou amostras) e número de diferentes fontes (e.g., projetos diferentes, organizações diferentes). Dependendo da natureza do risco sob análise, a importância pode estar mais em um dos fatores ou na combinação entre eles, assim, há a necessidade de generalização da forma de expressão deste elemento.</p> <p>Dados e informações tornam-se mais importantes para a maturidade do risco quando há disponibilidade de quantidade significativa, trazendo informações com base em frequência.</p> <p>Em casos onde PRA é utilizado, existem medidas objetivas quanto a quantidade de dados como <i>Years of Experience (YoE)</i>, que considera o período de coleta multiplicado pelo tamanho amostral dos dados (BANI-MUSTAFA et al., 2020c) para a formação de um modelo. A quantidade de dados disponíveis é uma medida natural de SoK visto que sua principal utilização é expressar incertezas epistêmicas em modelos probabilísticos. Entretanto, somente uma grande quantidade de dados não necessariamente indica forte conhecimento, pois pode ser afetada por disponibilidade e qualidade (FLAGE; AVEN, 2009; BANI-MUSTAFA et al., 2020c).</p>
<p>1.1.5 Precisão (dispersão)</p>	<p>Nível de precisão dos dados/informações.</p>	<p>A precisão (dispersão) dos dados pode implicar diretamente na qualidade (maturidade) dos dados e informações, considerando o nível de conhecimento do fenômeno sob análise. Quando o fenômeno tem um comportamento de pequena dispersão (pequena variância nos resultados) e é conhecido, a precisão dos dados utilizados como referência para a análise do risco também deve apresentar esta característica.</p> <p>No entanto, se há dispersão nos dados, independentemente de tratar-se de múltiplas fontes confiáveis, a natureza do fenômeno sob análise pode representar essa característica dispersa (grande variância nos resultados), portanto, não sendo possível extrair conclusões sobre o nível de conhecimento que fundamenta os dados (quanto a precisão) utilizados na análise de risco.</p> <p>Quando modelos e experimentos são a fonte de dados (teórico-experimental), a característica de dispersão pode estar relacionada ao nível de incerteza na modelagem (avaliado no elemento 1.7 Ferramentas e Processos).</p>
<p>1.1.6 Pragmatismo</p>	<p>Nível de representação da realidade (pragmático) e consistência dos dados e informações.</p>	<p>A consistência dos dados e a sua representação da realidade são vinculados diretamente ao conhecimento do avaliador do risco e ao conhecimento do fenômeno base do risco sob análise.</p> <p>Fazer sentido quanto a realidade ou possibilidade real significa não ferir as regras ou teorias universais e específicas que se aplicam ao fenômeno base do risco, isto é, os dados e informações podem ser considerados verdadeiros com o conhecimento atual (<i>justified belief</i> (AVEN, 2016c)).</p> <p>A consistência busca identificar se existem ambiguidades, falhas lógicas, falta de nexos ou instabilidade nos dados e informações. Enquanto a representação da realidade complementa a consistência, trazendo uma avaliação da validade prática dos dados e informações. Conjuntamente, estes aspectos provem um direcionamento sobre a solidez das informações e dados utilizados na análise de risco.</p>

continua

Tabela 8.2 – Continuação.

<p>1.1.7 Ferramentas e Processos</p>	<p>Maturidade das ferramentas e processos originadores de dados e informações considerados na análise do risco.</p>	<p>Os modelos, análises, fontes de busca e respectivos processos utilizados para obtenção dos dados e informações são parte fundamental do conhecimento que suporta a existência e julgamento de riscos, pois compõe a origem dos dados e informações.</p> <p>A comprovação de capacidade de representação da realidade mostra o potencial de conhecimento a ser extraído de modelos e análises. Enquanto a maturidade de fontes e processos de busca é representada pela confiança, solidez e relevância atribuída pelo avaliador do risco.</p> <p>Segundo Hansson e Aven (2014), modelos podem ser determinísticos ou probabilísticos, assim como qualquer modelo científico, são baseados em idealizações (simplificações) em relação ao fenômeno sob observação e para algumas variáveis desejadas de inclusão no modelo, não existem probabilidades significativas indisponíveis. Infelizmente tais estimativas podem estar severamente erradas, portanto, é essencial distinguir entre as incertezas probabilísticas e aquelas que possuem embasamento epistêmico seguro (e.g., em frequências derivadas de experiência relevante).</p>
<p>1.2. Maturidade de julgamento</p>	<p>Maturidade do julgamento ou avaliação realizada do risco (etapa específica do processo de medir ou descrever o risco)</p>	<p>O julgamento ou avaliação de risco implica o uso de conhecimento do avaliador do risco e, possivelmente, de outros especialistas, sendo importante identificar a percepção do avaliador responsável pelo risco quanto ao resultado desta atividade específica, pois é onde são definidos os aspectos principais avaliados por decisores. Mesmo que outros parâmetros ou informações sejam providas, a medida ou descrição do risco é o núcleo informacional utilizado por decisores.</p>
<p>1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos</p>	<p>Nível de suporte e convergência de julgamento de outros especialistas quanto ao risco em análise.</p>	<p>Outros pontos de vista ajudam a calibrar a avaliação do risco e quando suportado por outros especialistas, mesmo de diferentes áreas, o conhecimento que suporta o julgamento do risco é maior.</p> <p>Este elemento é caracterizado por dois componentes, o nível de suporte entendido como a força ou intensidade de influência e a convergência quanto a avaliação realizada, ou seja, se esta está alinhada no mesmo sentido.</p> <p>Existe a questão de limitação da visão quando especialistas de subsistemas avaliam riscos, conforme apontado por Lengyel (2018), mas quando este fenômeno ocorre, há necessidade de uma deliberação coletiva.</p>
<p>1.2.2 Nível de confiança do julgamento</p>	<p>Nível de confiança quanto ao julgamento do risco.</p>	<p>A subjetividade da medida de confiança do avaliador quanto ao julgamento do risco pode balancear o RKM pois, mesmo que outros parâmetros menos vulneráveis à subjetividade, sustentem argumentos de forte conhecimento, a incerteza subjetiva quanto ao julgamento é um importante termômetro para o decisor indicando a maturidade de cada julgamento.</p>
<p>1.3. Maturidade de Premissas</p>	<p>Nível de maturidade de premissas é entendido como o nível de incerteza assumido, através das premissas utilizadas na análise do risco.</p>	<p>O grau no qual as premissas são realistas e sensatas afeta fortemente a solidez das premissas e sua eficácia no suporte à avaliação de riscos (BERNER; FLAGE, 2016a).</p> <p>Premissas são inevitavelmente assumidas pelo avaliador devido a limitação ou incompletude de conhecimento, dados, informações e entendimento do fenômeno envolvido utilizado para simplificação da análise quando necessário (KLOPROGGE; VAN DER SLUIJS; PETERSEN, 2011).</p> <p>As premissas podem ser de diferentes formas, como dados de entrada, interpretação de informações, preenchimento de lacunas, entre outras. Tais premissas são consideradas parte do conhecimento de suporte ao processo de análise de riscos e podem ser consideradas fontes de incertezas (BERNER; FLAGE, 2016b; BANI-MUSTAFA et al., 2020c).</p> <p>Alguns trabalhos como Berner e Flage (2016a), Langdalen et al. (2020) e Flage e Askeland (2020) apresentam a metodologia específica para tratamento de premissas na avaliação de riscos, denominada de <i>assumption deviation risk</i>. Esta abordagem é considerada um complemento do SoK e sua aplicação resulta na identificação e quantificação de riscos relacionados a desvios de premissas assumidas.</p>

continua

Tabela 8.2 – Conclusão.

1.4. Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco	Grau de conhecimento e compreensão do assunto envolvido no risco sob análise.	O conhecimento e entendimento do assunto em análise é a base em que o risco é constituído. Este aspecto deve ser explícito para suportar tomadas de decisão.
1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco	Grau de compreensão do evento, fenômeno e do sistema que está envolvido no risco através dos níveis de formação e experiência.	Segundo Flage e Aven (2009) e Goerlandt e Montewka (2014), quanto melhor o fenômeno é entendido, maior o conhecimento que suporta o risco. Experiência adquirida relacionada a um determinado fenômeno, evidências documentadas, a aplicação relacionada ao fenômeno e o entendimento adquirido por indivíduos podem ser indícios do entendimento de um fenômeno (BANI-MUSTAFA et al., 2020c) Esta definição é equivalente ao conceito de " <i>general knowledge</i> " apresentado em Aven e Kristensen (2019) como um importante elemento de avaliação de um risco.
1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	É a medida de esforço realizado para entender e buscar informações sobre o risco.	O nível de exploração do assunto provê a medida de quanto esforço foi dedicado ao aprofundamento na obtenção de conhecimentos sobre o fenômeno envolvido. Este atributo é importante para a previsão de surpresas (<i>black or gray swan</i>). Existem duas formas fundamentais de exploração que denominamos amplitude e profundidade. Enquanto amplitude tem objetivo de ampliar a visão macro do conhecimento em possíveis eventos, causas e consequências do risco (e.g., identificação de uma possível consequência ainda desconhecida com impacto catastrófico, que anteriormente a descoberta, poderia vir a ser uma surpresa), e a profundidade tem foco no entendimento específico, com exploração de margens, certificação ou clareza de resultados (e.g., parâmetro de desempenho apresenta erro/margem que ultrapassa um determinado limite/restrrição da solução e necessita maior aprofundamento de análise para entendimento do risco derivado). O nível de exploração do assunto tem fronteira com a questão de mitigação de risco, entretanto, ao longo do desenvolvimento de uma solução esse processo é realizado naturalmente e iterativamente e o seu resultado está "escondido" na apresentação final da solução explorada. Esta definição é equivalente ao conceito de " <i>specific knowledge</i> " apresentado em Aven e Kristensen (2019) como um importante elemento de avaliação de um risco.

Fonte: Produção do autor.

8.1.1.2 Composição e avaliação do RKML

A construção dos componentes (atributos) do RKML utiliza um modelo de alternativas de seleção para o julgamento qualitativo do avaliador do risco. Esse modelo é apresentado na Tabela 8.3 com valores numéricos associados ($aMS_{1,j,k}$), que representam o valor de maturidade individual dos atributos que permitem a composição numérica do RKML, através de agregação dos componentes, de acordo com a arquitetura (árvore) de atributos definida.

As alternativas de seleção foram criadas a partir da revisão de literatura e, principalmente, considerando as particularidades do cenário específico de aplicação deste trabalho. A literatura apresenta conceitos formais de métricas de qualidade de dados (e.g., *data quality metrics* (HEINRICH et al., 2018), NUSAP (BERNER; FLAGE, 2016b)), entretanto, nas definições do RKML não serão utilizados conceitos formais, dado a diversidade de naturezas de informações que são utilizadas na concepção de sistemas espaciais onde, em alguns casos, dados podem não estar disponíveis para a análise de riscos.

Os conceitos são definidos com o objetivo de prover uniformidade de entendimento aos avaliadores e usuários dos resultados e evitar arbitrariedade nos julgamentos. Entretanto, é reconhecido que os elementos qualitativos de julgamento estão sempre sujeitos a interpretação do avaliador. Por exemplo, com a utilização de termos: características semelhantes, poucas características, facilmente acessível, entre outros (i.e., assim como utilizado em outros modelos semelhantes de SoK (BANI-MUSTAFA et al., 2020c), (LANGDALEN; ABRAHAMSEN; ABRAHAMSEN, 2020)).

A dificuldade na definição dos termos qualitativos é diminuída com a estratégia de estratificação das alternativas de decisão em polos extremos (i.e., duas ou três alternativas), semelhante à avaliação qualitativa “semafórica” com as cores verde, amarelo e vermelho, entendida como estratégia de pensamento que provê melhor sensação de níveis de risco de engenheiros (HIHN; CHATTOPADHYAY; VALERDI, 2011).

Segundo Cox (2008) e Hihn et al. (2012), engenheiros ou especialistas em geral avaliam riscos de forma mais fácil e adequada utilizando formas qualitativas, principalmente, quando não existem informações suficientes.

Conforme detalhado na Seção 8.1.2, os julgamentos dos atributos do RKM são utilizados para formação do RP&RB. Nesta interrelação, algumas características são utilizadas na caracterização dos atributos do RKM, em algumas alternativas de decisão, que possuem importância maior para o RP&RB. Por exemplo, as expressões “externo” ou “interno à organização” (nos atributos 1.1.4, 1.3 e 1.4.2) e “comparação de diferenças entre referências e objeto avaliado” (no atributo 1.4.2).

Os valores de maturidade ($aMS_{1.j.k}$) associados a cada alternativa de decisão do RKM foram atribuídos através do método DIRECT (BOTTOMLEY; DOYLE; GREEN, 2000) e suas justificativas são apresentadas na Tabela 8.3. Esta abordagem numérica (semiquantitativa) distingue as diferentes alternativas de decisão quanto a sua contribuição para o RKML. Observando que os valores de maturidade atribuídos não são lineares ou utilizam uma escala padronizada, de forma a refletir mais precisamente a importância de cada alternativa para o RKM no cenário específico de aplicação deste método e considera a experiência adquirida em estudos conceituais realizados no CPRIME.

A integração da forma semiquantitativa do RKML é apresentada na Seção 8.1.5 com a integração completa do iRML, onde os valores de maturidade resultantes do julgamento ($aMS_{1.j.k}$) são combinados através de pesos de importância em um processo de normalização.

Tabela 8.3 - Alternativas de decisão e os valores de maturidade dos atributos da medida RKML.

Classe de atributo	Atributo	$aMS_{1,j,k}$	Descrição da alternativa	Racional do valor de maturidade
1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.	1.1.1 Relevância (aplicabilidade) Relevância dos dados e informações no sentido de adequação ao propósito desejado e atualidade temporal.	100	Mesmas características do objeto e contexto com validade temporal.	Características semelhantes do objeto e contexto, e ainda validade temporal dos dados e informações são correlações importantes e, combinados, consistem em nível aceitável de conhecimento, assim, o valor desta alternativa (intermediária) é apenas 30% menor do que a alternativa de características iguais. Enquanto, poucas características semelhantes e/ou desconhecida validade temporal não geram valor de conhecimento ao risco analisado, por não ser possível afirmar a relevância dos dados e informações.
		70	Características semelhantes do objeto e contexto com validade temporal.	
		0	Poucas características semelhantes do objeto ou contexto com desconhecida validade temporal.	
	Objeto: objeto do risco (e.g., produto, função, tecnologia) Contexto: ambiente e atributos dos elementos (e.g., pressão, temperatura, condições de operação) Temporal (<i>timeliness</i>): validade de atualidade (e.g., validade de método de obtenção ou medida, conhecimento atual). Existem definições formais para a métrica <i>timeliness</i> de dados (e.g., (HEINRICH et al., 2018) (BALLOU et al., 1998)) que podem ser usadas como referência.			
1.1.2 Fundamentos Origem de formação dos dados e informações.		100	Dados de campo (ambiente operacional real) e suporte teórico-experimental	Dados e informações de origem teórico-experimental que dão suporte a análise do risco são considerados com valor de maturidade de conhecimento menor que 50% da importância de dados de campo, dado que existem grandes incertezas no contexto de fase conceitual. Os dados reais ganham bastante importância neste atributo, visto que podem ser usados com a interpretação de frequência com menor incerteza e proveem maior solidez ao risco analisado. Enquanto se a origem dos dados e informações é desconhecida, não é possível atribuir valor de maturidade de conhecimento.
		40	Somente teórico-experimental	
		0	Desconhecido	
Origem teórico-experimental: derivados de acadêmico, simulação, experimento em laboratório. Origem de campo / ambiente operacional real: herança em voo, projetos finalizados ou lições aprendidas.				

continua

Tabela 8.3 – Continuação.

<p>1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações</p> <p>Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.</p>	<p>1.1.3 Disponibilidade e facilidade de acesso</p>	<p>100</p>	<p>Amplamente disponibilizado ou facilmente acessível</p>	<p>Dados e informações amplamente disponibilizados e facilmente acessíveis indicam indiretamente que o risco e fenômeno relacionado são conhecidos e o conhecimento é dominado pela comunidade da área, provendo alta maturidade de conhecimento. Enquanto estas características forem julgadas em nível intermediário (pouco disponibilizado e acesso sob demanda), a confiança no pleno domínio de conhecimento sobre o assunto não pode ser assumida, entretanto, se ainda existem, possuem um pequeno valor de maturidade de conhecimento. Entretanto, se o acesso é restrito nada pode ser afirmado quanto ao nível de conhecimento.</p>
	<p>Disponibilidade e facilidade de acesso (por busca ou obtenção) de dados e informações.</p>	<p>40</p>	<p>Pouco disponibilizado ou acesso sob demanda</p>	
		<p>0</p>	<p>Acesso restrito</p>	
	<p>Disponibilização está relacionada ao número de fontes e amplitude de divulgação. Acessibilidade está relacionada ao grau de dificuldade ao acesso por obtenção (simulação, modelos) ou busca (fontes, base de pesquisa).</p>			
<p>1.1.4 Quantidade</p> <p>Quantidade de dados e informações (relacionado ao fator temporal, volume de dados e número de diferentes fontes).</p>		<p>100</p>	<p>Referente a longo período e/ou grande volume e/ou múltiplas fontes de dados e informações (incluindo externos à organização)</p>	<p>As alternativas de decisão sobre a quantidade de dados e informações permitem, no mínimo, a utilização de informações ou dados singulares pertencentes a única fonte, assim um valor mínimo de maturidade do conhecimento é atribuído. Isso implica que o valor de maturidade derivado do atributo quantidade é não nulo, mas possui distanciamento relativo crescente com relação à níveis melhores de quantidade de dados e informações.</p>
		<p>50</p>	<p>Referente a pequeno período e/ou pequeno volume e/ou poucas fontes de dados e informações (não necessariamente externos à organização)</p>	
		<p>20</p>	<p>Dados e informações singulares (único) e/ou pertencentes a uma única fonte</p>	
<p>Fator temporal: relativo ao período de abrangência dos dados (e.g., dados coletados durante 10anos de operação). Volume de dados: quantidade total, somando os conjuntos unitários de dados (medidas/amostras). Quantidade de fontes: relacionado a diferentes origens ou contextos (e.g., diferentes projetos, diferentes fornecedores, diferentes organizações).</p>				

continua

Tabela 8.3 – Continuação.

<p>1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações</p> <p>Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.</p>	<p>1.1.5 Precisão (dispersão)</p> <p>Nível de precisão dos dados e informações.</p>	<p>100</p> <p>Convergente e corresponde à natureza do fenômeno</p>	<p>Quando o fenômeno tem um comportamento de pequena dispersão e é conhecido, a precisão dos dados utilizados como referência para a análise do risco também deve apresentar esta característica, assim, é atribuído o máximo valor de maturidade de conhecimento. No entanto, se há dispersão nos dados, independentemente de tratar-se de múltiplas fontes confiáveis, a natureza do fenômeno sob análise pode representar essa característica dispersa (grande variância nos resultados), portanto, não sendo possível extrair conclusões sobre o nível de conhecimento que fundamenta os dados (quanto a precisão) utilizados na análise de risco, assim, o valor de maturidade de conhecimento atribuído é não nulo, gerando uma importância relativa entre as duas alternativas.</p>
	<p>30</p> <p>Não convergente ou não corresponde à natureza do fenômeno</p>		
	<p>Dispersão: pequena variância nos resultados</p>		
<p>1.1.6 Pragmatismo</p> <p>Nível de possibilidade real e consistência dos dados e informações.</p>	<p>100</p> <p>Faz sentido quanto possibilidade real e não apresenta inconsistências</p>	<p>Dados e informações que apresentam inconsistências são atribuídos com valor de maturidade menor do que 50% de importância com relação ao maior nível de pragmatismo, dado que podem ser inconsistências que invalidem a sua viabilidade de realidade. Enquanto, se não é possível fazer qualquer afirmação sobre a realidade ou existência de inconsistências (última alternativa de decisão), não há valor de maturidade a ser considerado.</p>	
	<p>40</p> <p>Faz sentido quanto possibilidade real, porém apresenta pequenas inconsistências</p>		
	<p>0</p> <p>Não é possível afirmar a possibilidade real ou apresenta inconsistências</p>		
<p>Inconsistências incluem ambiguidade, falha lógica, falta denexo ou instabilidade. Fazer sentido quanto a realidade ou possibilidade real significa não ferir as regras ou teorias universais e específicas que se aplicam ao fenômeno base do risco, isto é, os dados e informações podem ser considerados verdadeiros com o conhecimento atual (<i>justified belief</i>).</p>			

continua

Tabela 8.3 – Continuação.

<p>1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações</p> <p>Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.</p>	<p>1.1.7 Ferramentas e Processos</p> <p>Maturidade das ferramentas e processos (de busca ou obtenção) originadores de dados e informações.</p>	<p>100</p> <p>Modelo ou análise convergente com diferentes bases teóricas, há concordância de diferentes especialistas, possui longo período de utilização e possui um programa de revisão e atualizações. Fontes de busca são confiáveis e relevantes e existe um processo de busca estabelecido.</p>	<p>O modelo ou análise para geração de dados e informações pode assumir diferentes graus de maturidade, entretanto, existindo maior tempo de utilização é assumido que há melhor nível de maturidade de conhecimento, assim, essa diferença de importância é refletida nas alternativas, enquanto uma base teórica sólida é mandatória. Um processo de busca estabelecido é considerado ideal para a maturidade de conhecimento na obtenção de dados e informações, assim considerado de maior maturidade, enquanto as demais alternativas apontam para a uso de fontes com características mandatórias de diferentes níveis, onde o mínimo aceitável são fontes confiáveis.</p>
		<p>70</p> <p>Modelo ou análise construídas com base teórica sólida e/ou possui pequeno período de utilização. Fontes de busca são confiáveis e relevantes.</p>	
		<p>10</p> <p>Novo ou recente modelo com base teórica sólida. Fontes de busca confiáveis.</p>	
<p>1.2. Maturidade do Julgamento</p> <p>Maturidade do julgamento ou avaliação realizada do risco (etapa específica do processo de medir ou descrever o risco)</p>	<p>1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos</p> <p>Nível de apoio e convergência de julgamento de outros integrantes do estudo quanto ao risco em análise.</p>	<p>100</p> <p>A maioria dos especialistas concorda com a avaliação (convergente) e há forte nível de suporte.</p>	<p>O valor de maturidade de conhecimento quanto à concordância e ao nível de suporte de outros especialistas ao julgamento do risco gera alternativas uniformemente distribuídas, com ênfase para a não existência de visão conflitante, indicando que, se há algum especialista discordante, mesmo confrontando a visão da maioria, é provável que este possui argumentos relevantes a serem avaliados e eventualmente reconsiderados no julgamento do risco. Quando este cenário se faz presente e, também não há concordância entre os especialistas, o valor de maturidade é o menor possível (não nulo) juntamente com a situação em que não existam outras opiniões.</p>
		<p>50</p> <p>A maioria dos especialistas concorda com a avaliação (convergente) mas o nível de suporte é intermediário e não há forte visão conflitante.</p>	
		<p>10</p> <p>Não há concordância entre especialistas sobre a avaliação, existe forte visão conflitante ou não há opiniões.</p>	
	<p>Concordância ou convergência: indica o alinhamento de sentido do julgamento. Nível de suporte: indica a força ou intensidade de influência.</p>		<p>100</p> <p>As incertezas são bem conhecidas e o julgamento é sólido.</p>
<p>1.2.2 Nível de confiança do julgamento</p> <p>Nível de confiança quanto ao julgamento do risco.</p>	<p>40</p> <p>Existem incertezas e pequena possibilidade de modificação no julgamento.</p>		
	<p>10</p> <p>Existe grande incerteza e considerável possibilidade de modificação no julgamento.</p>		

continua

Tabela 8.3 – Conclusão.

1.3. Maturidade de premissas Premissas utilizadas que dão suporte a análise do risco.	100	Com base em experiência e referências comprovadas (já materializadas) e relevantes, incluindo externas à organização	O uso de experiência e referências como suporte da definição de premissas gera um nível de maturidade de conhecimento elevado, assim, o valor de maturidade atribuído entre as alternativas que consideram essas duas características é elevado, diferindo apenas em suas qualificações, justificando uma pequena diferença de importância. Enquanto premissas que são formadas a partir de intuições e simplificações tem um valor de maturidade pequeno, mas não nulo.	
	70	Com base em experiência e referencial teórico disponível		
	10	Com base em "best guess" e uso de simplificações		
Experiência no sentido de conhecimento absorvido de estudos, pesquisas ou vivência passados.				
1.4. Maturidade do Conhecimento e Entendimento do Assunto do Risco Grau de conhecimento e compreensão do assunto envolvido no risco em análise.	1.4.1 Conhecimento do assunto envolvido no risco	100	Conhecimento específico, formação acadêmica na área e experiência maior que 20 anos, com possibilidade de ter vivenciado o risco em questão (inclusive múltiplas vezes)	Os valores de maturidade atribuídos têm uma distribuição praticamente uniforme de importância entre as alternativas de decisão. É dado ênfase para o período de experiência na área relacionada ao risco sob avaliação, pois o tempo necessário para a formação e obtenção de maturidade de especialistas em áreas específicas de engenharia espacial, para o contexto deste trabalho (fase de concepção) é longo e a obtenção de experiência prática em missões espaciais típicas tem média ou longa duração.
		60	Formação acadêmica na área e/ou experiência entre 10 a 20 anos, com possibilidade de conhecimento da ocorrência do risco em questão	
		10	Formação acadêmica em área relacionada e/ou experiência menor que 10 anos	
	1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	100	Exaustivamente explorado com ganho de amplitude e profundidade, incluindo experiências externas à organização e comparação de diferenças na avaliação de referências com o objeto/contexto do risco avaliado.	A exploração do assunto com ganhos em amplitude e/ou profundidade geram um ganho de conhecimento para análise do risco, mesmo que esse esforço seja parcial, assim o valor de maturidade das alternativas que consideram esse(s) aspecto(s) são altos, diferenciando em grau de exploração e o foco. O foco em profundidade normalmente se dá em riscos relacionados a questões técnicas bastante específicas. Quando o assunto é pouco explorado ou o risco é considerado suficientemente conhecido, não é possível admitir que há um conhecimento subjacente maduro, assim, este atributo gera um valor mínimo de maturidade.
		70	Parcialmente explorado e/ou foco em profundidade de atributos (incluindo experiências externas à organização).	
		10	Pouco explorado e/ou risco suficientemente conhecido.	
Amplitude: tem objetivo de ampliar a visão macro do conhecimento em possíveis eventos, causas e consequências do risco. Profundidade: tem foco no entendimento específico, com exploração de margens, verificação ou clareza de resultados.				

Fonte: Produção do autor.

8.1.1.3 Discussão sobre fatos e valores na avaliação do RKML

Os aspectos de percepção e comportamento ao risco são tratados no elemento RP&RB, mas as influências (motivacionais ou inconscientes) de considerar valores no julgamento podem estar presentes ao longo da avaliação de todos os elementos do RKML, mesmo com a estruturação do modelo visando um julgamento livre de valores (e.g., estratégia de avaliação com alternativas fixas e definição de termos chaves) e a recomendação de práticas durante aplicação.

A literatura utiliza o termo *value-ladenness* (ZIO, 1996; KLOPROGGE; VAN DER SLUIJS; PETERSEN, 2011; BANI-MUSTAFA et al., 2020c, 2020b) para representar os valores (subjetivos), percepções pessoais e limitações externas dos avaliadores durante a análise de riscos no contexto de PRA.

Os modelos normalmente limitam a avaliação do *value-ladenness* quanto à qualidade ou solidez das premissas, assumindo que os demais elementos do modelo estão “livres de valores”. Por exemplo, em Bani-Mustafa et al. (2020b) *value-ladenness* é avaliado apenas quanto à qualidade das premissas, como componente do critério de fidelidade da modelagem PRA na avaliação da confiança em avaliação de riscos. Em (BANI-MUSTAFA et al., 2020c) *value-ladenness* é avaliado apenas quanto à solidez de premissas na formação do SoK, como medida de incerteza epistêmica de modelos PRA.

Entretanto, estimar a carga de valor limitado à formação de apenas um critério é questionável, pois os julgamentos de todos os elementos são qualitativos e utilizam características não objetivamente quantificáveis, controláveis ou padronizadas para a avaliação. Por exemplo, a avaliação de completude de dados confiáveis disponíveis (*completeness* - K_{221}), elemento considerado na árvore de atributos formadora do SoK (Tabela 3.8, Seção 3.3.2) proposta em Bani-Mustafa et al. (2020c), não é considerado representativo para carga de valor (i.e., declarado pelos autores). Entretanto, as alternativas de decisão para o julgamento desse critério, reproduzidas na Figura 8.7, utilizam o critério de “julgamento de aceitabilidade dos dados” (i.e., julgamento sobre conter informações necessárias para a avaliação). Portanto, é um julgamento explicitamente dependente dos valores do avaliador.

Figura 8.7 - Alternativas de avaliação do atributo completude de dados confiáveis.

Pontuação	1	2	5
Atributo: Completude (K₂₂₁)	se os dados falham em conter a informação necessária para desenvolver o modelo de avaliação do risco.	se os dados contêm a informação necessária para desenvolver o modelo de avaliação do risco em um nível aceitável.	se os dados contêm todas as informações necessárias para desenvolver o modelo de avaliação do risco.

Fonte: Adaptada de Bani-Mustafa et al. (2020c).

A partir dessa análise, a proposta de RKM e sua medida RKML foram construídas, inevitavelmente, com elementos sujeitos aos valores subjetivos do avaliador, através de julgamentos qualitativos. Entretanto, o melhor julgamento (*best judgment* (AVEN, 2016a)), honestidade e imparcialidade da avaliação são assumidos como premissas dos resultados de RKML. As premissas estão suportadas pelo uso em ambiente profissional do modelo, assim diminuindo a probabilidade de avaliações intencionalmente direcionadas. Neste contexto, destaca-se que o atributo nível de confiança do julgamento (1.2.2) do RKM possui influência direta na formação do elemento RP&RB e representa a confiança percebida do avaliador do risco. Tornando-se um elemento de ajuste (balanceamento) com relação a maturidade de atributos "mais objetivos" do RKML.

Visando uma avaliação não enviesada (*unbiased*) do julgamento do RKML, práticas durante aplicação são recomendadas como treinamentos, descaracterização de importância (i.e., desordenamento das alternativas) e a ocultação (não apresentação) dos valores de maturidade associados a cada alternativa.

Goerlandt e Montewka (2014) propõe a utilização do SoK com extensão para a avaliação de atitudes (*propositional attitudes*) do avaliador de risco com relação as evidências utilizadas na análise do risco. Esta proposta defende a captura do estado mental do indivíduo com relação a uma afirmação (julgamento) ou sobre a veracidade de uma proposição. Os autores afirmam que a descrição do risco não é necessariamente livre de valores (*value-free*), e que a proposta de avaliação qualitativa dos vieses das evidências (*evidential biases*) pode explicitar as considerações baseadas em valores. Comparativamente, no iRM e iRML, os

elementos de psicologia humana ao risco são tratados no elemento RP&RB de uma forma mais abrangente, não somente focado na aceitabilidade das evidências, conforme a proposta de Goerlandt e Montewka (2014).

8.1.2 Percepção e comportamento ao risco (RP&RB)

O elemento RP&RB integra o conceito iRM para representar as características psicológicas (cognitivas) e socioculturais de percepção e comportamento ao risco do avaliador do risco durante as tomadas de decisão envolvidas no processo de análise de risco, uma visão não explicitamente apresentada na literatura.

Os modelos tradicionais de tomada de decisão utilizando resultados da análise de riscos, conforme modelo apresentado em Hansson e Aven (2014) (Figura 4.1), consideram as teorias e metodologias de tomada de decisão válidas apenas para os processos de análise de decisão (i.e., lado direito do modelo). Entretanto, ao longo da análise de riscos em um estudo conceitual, diversas decisões sob incertezas e sujeitas aos valores e comportamento ao risco (do avaliador do risco) são realizadas por especialistas ao avaliar um risco (e.g., (VAN BOSSUYT et al., 2012)) como, por exemplo:

- a) na identificação de um potencial risco e o seu enquadramento nas definições e política adotadas (e.g., este evento/consequência pode ser considerado um risco?);
- b) na avaliação dos parâmetros do risco como, probabilidades e consequências (e.g., como enquadrar a probabilidade de ocorrência de determinado evento, utilizando um *scoring guideline* limitado?);
- c) na forma de descrição dos riscos para registrá-los e comunicá-los (e.g., como descrever adequadamente um evento ou cenário de risco? Como evitar o efeito de enquadramento de um futuro stakeholder?).

Neste entendimento, as teorias de tomada de decisão são aplicáveis aos processos de decisão durante a análise de riscos realizada por especialistas. Portanto, os especialistas estão sujeitos à heurísticas, vieses e influência do seu

comportamento, gerando implicações para os riscos analisados. Segundo Borgonovo et al. (2018), existem poucas pesquisas preocupadas em criar abordagens adequadas para a interface entre a análise de riscos e a análise de decisão (i.e., "*broad risk evaluation*" e "*decision maker's review*" no modelo de Hansson e Aven (2014)), mas as pesquisas sobre *deep uncertainty* tem permitido aprimoramentos neste sentido.

A integração de conceitos e metodologias das áreas de psicologia e ciências sociais na análise de riscos de áreas técnicas tem sido defendida como forma importante de melhoria nas práticas atuais (ver Capítulo 5).

Os processos e estratégias de desenvolvimento de sistemas espaciais como a utilização de um ciclo de vida de projeto dividido em fases, implementação de mecanismos de avaliações e revisões do progresso do desenvolvimento, estratégias de verificação e validação, entre outros, são práticas que reduzem as chances de progressão de eventuais vieses e distorções da análise de riscos.

Entretanto, o desenvolvimento de um estudo de missão da fase conceitual em ambiente de engenharia simultânea é um esforço temporário realizado por um time de especialistas, usualmente diferente do time de desenvolvimento do projeto, em que os resultados são utilizados como referência para a continuidade da fase conceitual do projeto e não há uma etapa formal de revisão ao final do estudo, ficando essa verificação e aprovação sob responsabilidade do demandante do estudo, time de projeto e demais stakeholders.

Considerando essas características, identificar como os especialistas enfrentam (comportamento e atitude ao risco), capturam (percepção de risco) e expressam ou registram (comunicação de riscos) os riscos e incertezas, são importantes elementos para suportar decisões informadas ao risco (RIDM). Assim, as informações geradas sobre RP&RB tem o objetivo prover suporte aos stakeholders do risco quanto ao potencial de modificações e alterações da análise do risco realizada. Entretanto, a forma de apresentar os aspectos de RP&RB consiste em um conjunto de informações não absolutas, isto é, proveem apenas indicações sobre o estado de comportamento ao risco do avaliador e índices de possibilidade de existência de vieses em um risco analisado.

8.1.2.1 Conceitos e modelo do RP&RB

Uma estratégia indireta é utilizada para representar a percepção de risco (i.e., detalhada na Seção 8.1.2.2) e resulta em um conjunto de índices numéricos (semiquantitativos) que representam a possibilidade de existência dos vieses em riscos analisados. A abordagem para representação do comportamento ao risco (detalhada na Seção 8.1.2.3) resulta diretamente no estado de comportamento do avaliador do risco utilizando uma medida de propensão geral ao risco autodeclarada.

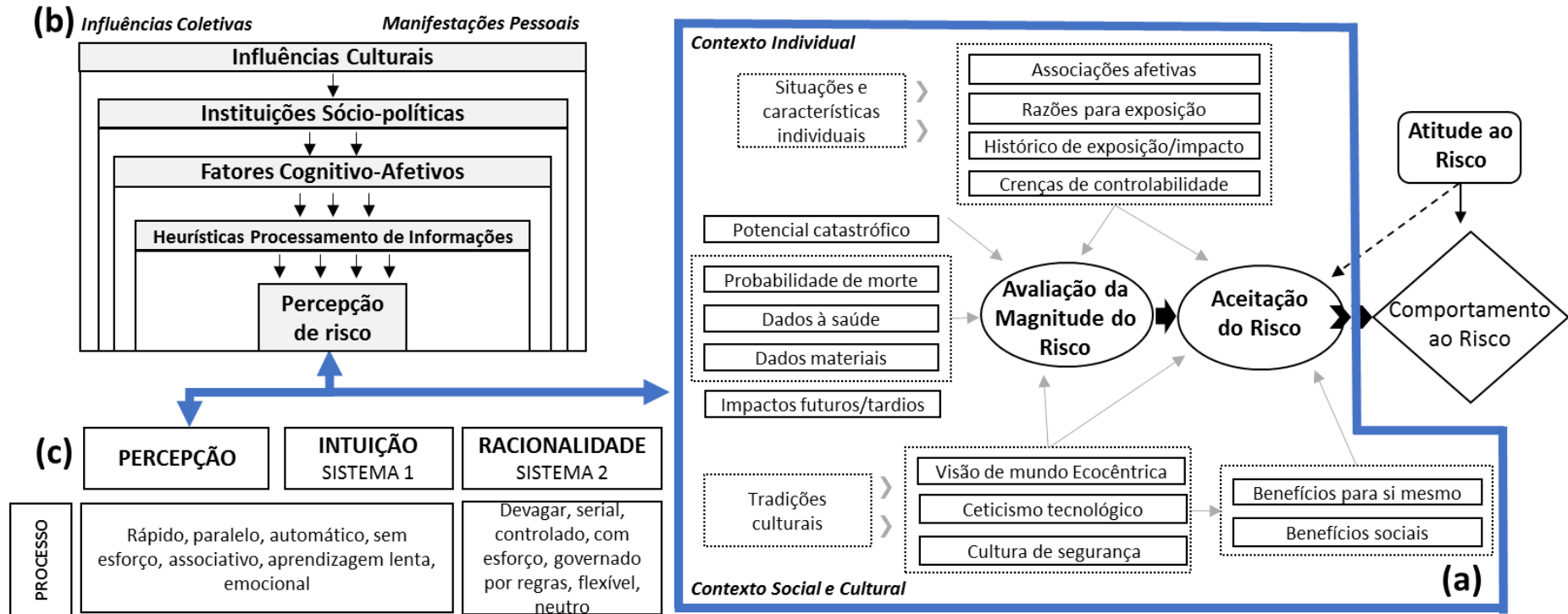
A Figura 8.8 apresenta uma estrutura multi-modelos que representa a lógica conceitual adotada no desenvolvimento dos elementos RP&RB, onde a percepção de risco é um elemento comum em todos os modelos e está destacado com a seta indicativa que conecta os elementos, enquanto o comportamento ao risco é o resultado final de todas as influências de contexto.

A estrutura representa os diferentes níveis de abstração e as naturezas psicológica (cognitiva) e socioculturais da percepção e comportamento ao risco com a integração dos seguinte modelos:

- a) modelo genérico de avaliação subjetiva de riscos (SER) (ROHRMANN, 2008), representa os relacionamentos entre comportamento, atitude e percepção ao risco;
- b) modelo de contexto dos fatores de influência da percepção de riscos (RENN, 2018), provê uma visão abrangente da formação da percepção de riscos ao integrar as influências psicológicas, sociais e culturais; e
- c) modelo da arquitetura cognitiva (KAHNEMAN, 2003a), representa o nível mental de mecanismos humanos, modos cognitivos Sistema1 e Sistema2.

Uma discussão conceitual e comparativa entre o modelo SER de Rohrmann (2008) e o modelo RARA de Hillson e Murray-Webster (2011), voltado para análise de risco com base em riscos (*risk-based*) é apresentada no Apêndice J.

Figura 8.8 – Estrutura multi-modelos de representação conceitual para o RP&RB.



(a) modelo genérico de avaliação subjetiva de riscos (SER) (ROHRMANN, 2008), (b) modelo de contexto dos fatores de influência da percepção de riscos (RENN, 2018), e (c) modelo da arquitetura cognitiva (KAHNEMAN, 2003a).

Fonte: Adaptada de Rohrmann (2008), Renn (2018) e Kahneman (2003a).

8.1.2.2 Percepção de risco e a possibilidade de existência de vieses

A revisão de literatura, apresentada na Seção 5.1 e Apêndice C, introduz diferentes modelos (*constructs* (NYRE; JAATUN, 2013)) de percepção de risco, normalmente descritivos e focados em algum contexto específico de interesse. Por exemplo, modelos da percepção de risco utilizados na área de psicologia com a identificação de aspectos emocionais (TOMPKINS; BJÄLKEBRING; PETERS, 2018) ou de personalidade (LAURIOLA; WELLER, 2018).

As medidas e processos de identificação da percepção de risco identificados na literatura não são formas práticas, parametrizadas ou de rápida utilização adequados ao contexto de aplicação no método proposto neste trabalho e, em sua maioria, necessitam de avaliação profissional e capacitada na área de psicologia para apropriada aplicação.

Somado a estas questões, não foi identificado uma abordagem majoritariamente aceita entre as pesquisas da área ou comprovadamente eficaz, o que reflete na diversidade de modelos propostos. Esta conclusão também é identificada em Wilson et al. (2019) e Walpole e Wilson (2020), e consiste na motivação principal desses autores na tentativa de desenvolver uma forma geral de medida de percepção de perigos (*hazards*).

Neste contexto, uma forma alternativa de representação da percepção de risco é desenvolvida neste trabalho. Observando a estrutura multi-modelos apresentada na Figura 8.8, nota-se que a percepção de riscos é resultante da influência de todos os fatores do contexto combinados e a sua integração ocorre no nível mental humano com as heurísticas e processamento de informações (i.e. níveis 3 e 4 do modelo de Renn e Rohrmann (2000), Figura 8.8(a)).

Considerando ainda, que os processos heurísticos podem levar a falhas lógicas (vieses) em tomadas de decisão, conforme definido no programa de heurísticas e vieses (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974), a lógica para considerar a percepção de risco do elemento RP&RB utiliza uma abordagem indireta. A abordagem busca indicar a possibilidade de existência de inconsistências ou distorções (vieses) ocorridos durante a análise de um risco (i.e., influenciado pelo processo de percepção (SLOVIC, 2010b)).

Ou seja, dado a inviabilidade de representação direta da percepção de risco, considerando os modelos encontrados na literatura e o contexto de aplicação do método aqui proposto, a abordagem indireta mostra-se viável. O resultado é a indicação da possibilidade de existência de vieses nos riscos analisados, utilizando relacionamentos lógicos entre as respostas do RKML e a possibilidade de existência dos vieses.

Além da abordagem criada para indicar a possibilidade de existência de vieses nos riscos, outro desafio é a seleção dos vieses a serem investigados no contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais. A estrutura da análise, seus resultados e discussões são apresentados na próxima Seção 8.1.2.2.1.

8.1.2.2.1 Seleção dos vieses investigados no RP&RB

A literatura apresenta muitos possíveis vieses que afetam o julgamento e as decisões humanas, conforme apresentado na Seção 5.1.4. A lista de vieses para consideração no RP&RB foi selecionada a partir de uma análise baseada em critérios e os vieses encontrados na literatura específica da área espacial. Os critérios utilizados na análise consideram a frequência em que o viés é considerado importante em projetos da área espacial (CR-1), reconhecimento do viés como causa de problemas no desenvolvimento ou falhas de sistemas espaciais (CR-2) e grau de importância do viés para o propósito de análise de riscos e contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais (CR-3).

A Tabela 8.4 apresenta os resultados da análise e as respectivas referências singulares (i.e., foram omitidas as publicações em duplicidade de conteúdo ou envolvendo os mesmos autores para evitar a falsa impressão de um volume maior de citações).

Como resultado da análise, os vieses de otimismo, falácia do planejamento, ancoragem e efeitos da ambiguidade tiveram maior relevância quanto aos critérios de seleção aplicados. Observa-se que alguns vieses são considerados subgrupos ou causa-raiz dos vieses de otimismo e ancoragem selecionados.

Tabela 8.4 – Resultados da análise para seleção de vieses investigados no RP&RB.

Viés	CR1	CR2	CR3	Referências
Viés do otimismo (<i>optimism bias</i>)	X	X	X	(EMMONS, 2017), (KATTAKURI, 2019), (SHORE, 2008)
Viés de ancoragem e ajuste (<i>anchoring and adjustment bias</i>)	X	X	X	(EMMONS, 2017), (KATTAKURI, 2019), (LARSON, 2012), (EVANS, 2016), (LENGYEL, 2018), (NASA, 2010)
Falácia do planejamento (<i>planning fallacy</i>)	X	X	X	(EMMONS, 2017), (BITTEN et al., 2013a)
Efeitos da ambiguidade (<i>ambiguity effect</i>)		X	X	(EMMONS, 2017)
Excesso de confiança (<i>overconfidence</i>) ¹	X	X	X	(KATTAKURI, 2019), (LARSON, 2012), (NASA, 2010)
Efeito de rescência (<i>recency effect / recallability</i>) ²	X	X		(SHORE, 2008), (EVANS, 2016), (NASA, 2010)
Viés da confirmação (<i>confirmation bias</i>)	X	X		(LARSON, 2012), (EVANS, 2016), (NASA, 2010)
Conservantismo (<i>conservatism</i>) ²		X		(SHORE, 2008)
Percepção seletiva (<i>selective perception</i>)		X		(SHORE, 2008)
Custos irrecuperáveis (<i>sunk cost bias</i>)		X		(SHORE, 2008), (NASA, 2010)
Viés de quase acidente (<i>near-miss bias / myopia bias</i>) ³		X		(DILLON; TINSLEY; ROGERS, 2014)
Viés de representatividade (<i>representativeness bias</i>)		X		(LARSON, 2012)
Viés de Ilusão de controle (<i>illusions of control</i>) ⁴		X		(LARSON, 2012)
Efeito adesão (<i>bandwagon effect</i>)		X		(EVANS, 2016)
Viés do ponto cego (<i>blind-spot bias</i>)		X		(EVANS, 2016)
Viés de suporte à escolha (<i>choice-supportive bias</i>)		X		(EVANS, 2016)
Ilusão de agrupamento (<i>clustering illusion</i>)		X		(EVANS, 2016)
Viés de status quo (<i>status quo bias</i>)		X		(NASA, 2010)

¹ O viés de excesso de confiança pode ser considerado como causa-raiz de otimismo (MURATA; NAKAMURA; KARWOWSKI, 2015);(KAHNEMAN; LOVALLO; SIBONY, 2011).

² Os vieses de efeito de rescência e conservantismo podem ser considerados subgrupos do viés de ancoragem (SHORE, 2008).

³ O viés de quase acidente é a tendência de ignorar sinais de situações de "quase falha", por motivo de intervenção que evitam a ocorrência de falhas. Há dificuldade de detecção pois estes casos são normalmente categorizadas como sucesso (DILLON; TINSLEY; ROGERS, 2014).

⁴ Segundo (BRACHA; BROWN, 2012) e (HARTZ; ELROD, 1996) uma das principais causas de contribuição para o viés de otimismo é a ilusão de controle.

Obs. Segundo (LARSON, 2012), a não uniformidade nos conceitos e terminologias de vieses, diferentes interpretações e diferentes relações de causalidade implica em diversas dificuldades na investigação de vieses.

Fonte: Produção do autor.

Os vieses selecionados para tratamento no RP&RB são os mesmos identificados na pesquisa desenvolvida por Emmons (EMMONS, 2017; EMMONS et al., 2018), detalhado no Apêndice D, que demonstra a existência dos vieses na análise de riscos de projetos espaciais com o uso de dados e informações de projetos já desenvolvidos pela NASA.

8.1.2.2.2 Relacionamentos lógicos da possibilidade de existência de vieses

Com o objetivo de indicar a possibilidade de existência dos vieses de um risco analisado, os relacionamentos entre os elementos do RKML e os vieses foram construídos através de análise lógica, utilizando uma abordagem inspirada na técnica de regressão linear (BEST; WOLF, 2014). As técnicas de regressão permitem inferir a relação de uma variável de resposta, neste caso, a possibilidade de existência de um determinado viés através de variáveis explicativas, que são os elementos avaliados do RKML. Assim, esta análise consiste na resposta da questão geral: Qual é a relação entre cada atributo avaliado do RKML com a possibilidade de existência de cada viés?

Os modelos lógicos desenvolvidos contam com a premissa de fidelidade e representação da realidade das respostas (avaliações) dos atributos do RKML realizadas pelo avaliador do risco, pois há grande dependência da forma projetada das respostas e a sua interação com o respondente. A forma projetada das alternativas de escolha qualitativas do RKML está sujeita à subjetividade (*value-laden*) do respondente, assim, podendo gerar respostas distorcidas. Entretanto, as alternativas projetadas com elementos de julgamento “mais objetivos”, diminuem a chance de respostas não verdadeiras ou distorcidas e tem maior grau de importância na indicação da existência de vieses, quando apropriadamente justificado.

O relacionamento entre os elementos avaliados do RKML e a possibilidade de existência dos vieses considera dois fatores denominados de: sentido da relação e intensidade de influência. O sentido da relação define se esta é positiva ou direta, ou seja, se o sentido de maior ou melhor avaliação do atributo reflete em maior possibilidade de existência do viés, enquanto o sentido de relação negativo

ou inverso, indica o raciocínio oposto, de quanto maior ou melhor a avaliação do atributo, menor a possibilidade de existência do viés.

O fator de intensidade de influência é a medida que provê o grau de importância do atributo no relacionamento com o viés e define o peso deste relacionamento para a indicação da existência do viés no risco analisado. Nesta proposta, a intensidade de influência pode assumir três níveis: alto, médio ou baixo, permitindo uma fácil e intuitiva avaliação.

A lógica, relacionamentos criados e sua justificativa ou racional são apresentados a seguir, individualmente para cada um dos vieses selecionados. A notação utilizada para apresentar os relacionamentos consiste na combinação do sentido da relação (P - positiva ou direta ou N - negativa ou inversa) como prefixo e a intensidade de influência com representação numérica (alto-3, médio-2 ou baixo-1) entre parênteses.

O mecanismo criado para evidenciar a possibilidade de existência dos vieses não deve ser utilizado com interpretação "determinística", pois está embasado nos relacionamentos lógicos criados entre os atributos de avaliação do RKML que, apesar de terem sido modificados parcialmente para compreender elementos que suportam os relacionamentos criados, foram projetados para atender outro propósito dentro do método.

A proposta de utilizar as respostas dos atributos de julgamento do RKML na formação dos índices de possibilidade de existência dos vieses foi adotada por dois motivos principais. Primeiro porque demonstrou ser capaz de gerar um indicador da possibilidade de existência dos vieses investigados, utilizando a revisão de literatura sobre os vieses específicos (Apêndice E). Segundo, para diminuir o tempo necessário de utilização prática do método (importante característica para aplicação em ambientes de engenharia simultânea), ou seja, quando o avaliador do risco avalia os elementos do RKML, as respostas são simultaneamente utilizadas para a formação do RKML e dos indicadores de existência dos vieses.

Entretanto, assume-se um certo grau de subjetividade ao utilizar essa abordagem, dado a limitação de informações providas nas alternativas do RKML

e as incertezas envolvidas (e.g., na avaliação das alternativas do RKML pelo avaliador do risco, nas relações lógicas criadas e na intrínseca não uniformidade teórica sobre os vieses) que são minimizados com uma “penalização” no uso prático dos indicadores. Consequentemente, faz-se necessário a interpretação e julgamento do stakeholder ao utilizar essas informações.

- Relacionamento lógico do índice de possibilidade de existência do viés do otimismo

Considerando as diferentes etapas de análise de riscos, o viés do otimismo é mais frequente na etapa de avaliação do risco, quando as consequências ou impactos do risco são determinados. Ainda, segundo Liu et al. (2018), o viés de otimismo é mais importante durante os estágios iniciais de um projeto, pela condução dos assuntos em nível conceitual e que envolve níveis maiores de incerteza. Esta última conclusão também é confirmada nos testes de hipóteses realizados por Emmons et al. (2018).

Os relacionamentos construídos entre os atributos do RKML e a possibilidade de existência do viés de otimismo na análise de um risco buscam identificar evidências da existência de elementos que causam o viés de otimismo como, por exemplo: indícios de familiaridade com o assunto do risco, características que evidenciam a formação e utilização de uma classe de referência (comparativa) para a análise do risco. Os argumentos relacionados aos relacionamentos criados identificados na literatura e são apresentados como forma de fortalecimento da relação lógica proposta.

Os relacionamentos lógicos entre os atributos do RKML e a possibilidade de existência do viés de otimismo e as justificativas que os suportam são apresentados na Tabela 8.5.

Tabela 8.5 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de otimismo.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1 Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações		
1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	N(2)	Quanto maior a relevância relacionada à aplicabilidade e atualidade de dados e informações utilizados para a análise do risco, menor é a chance de ocorrência do viés de otimismo, pois indica que a "classe de referência" (<i>reference class</i>), termo definido em Kahneman e Lovallo (1993) e Tversky e Kahneman (1974), utilizada para a avaliação do risco tem equivalência com o risco sob análise e espera-se um comportamento semelhante. Portanto, há uma relação inversa e de intensidade moderada de influência, dado a vulnerabilidade na avaliação deste elemento à certo grau de subjetividade.
1.1.2 Fundamentos	N(1)	Quando há fundamentação teórico-experimental e de campo dos dados e informações utilizados na análise do risco, a probabilidade de existência do viés de otimismo é menor, pois gera alta representatividade e diminui a margem para uso de estimativas otimistas. Entretanto, não foi encontrado qualquer argumento sobre este relacionamento na literatura, justificando uma fraca intensidade para este relacionamento com sentido inverso.
1.1.3 Disponibilidade e Facilidade de Acesso	N(1)	Quanto maior é a disponibilidade de dados e informações, maior é a probabilidade de existência de um bom nível de conhecimento sobre o evento (em análise) na comunidade da área (SMEs), portanto, o atributo de disponibilidade serve como um limitante para a ocorrência do viés de otimismo, uma vez que a avaliação do risco deve refletir tal base informacional. Entretanto, como a disponibilidade é balanceada pela importância estratégica dos dados e informações, o nível de influência é considerado pequeno para este relacionamento com sentido inverso.
1.1.4 Quantidade	N(3)	Quanto maior é a quantidade de dados e informações, seja com relação ao fator temporal, volume ou número de diferentes fontes, é possível inferir uma noção de frequência (KAHNEMAN; TVERSKY, 1977), o que diminui a chance de existência de otimismo e excesso de confiança no julgamento. A maior quantidade de dados e informações também melhora a classe de referência, tornando-a mais robusta, implicando na atribuição de intensidade alta de influência para este relacionamento com sentido inverso.
1.1.5 Precisão (dispersão)	N.A.	Não há influência identificada.
1.1.6 Pragmatismo	N(2)	Este atributo está fortemente relacionado à quanto o avaliador do risco possui de conhecimento sobre o fenômeno fundamental envolvido. Assumindo que há conhecimento suficiente para identificar grandes falhas nos dados e informações, a avaliação deste atributo tem influência moderada sobre o viés de otimismo. O sentido de relacionamento é negativo, pois a maior consistência e realidade percebida (factual) dos dados e informações utilizados como base na análise do risco, indica que a classe de referência é consistente, assim, diminuindo a chance de otimismo na análise do risco. Segundo Kutsch et al. (2011), a inconsistência de realismo nos dados é uma das principais causas de erros técnicos, portanto, também influencia diretamente na avaliação de risco.
1.1.7 Ferramentas e Processos	N(3)	A maturidade de ferramentas e processos para gerar (obtenção própria) ou buscar/pesquisar (de outras fontes ou já processados) dados e informações, tem forte relação com a solidez dos dados e informações utilizados como base para análise do risco e quanto maior, menor a probabilidade de existência do viés de otimismo. Mesmo que, o julgamento da maturidade de ferramentas e processos esteja vulnerável à subjetividade do avaliador, os critérios qualitativos projetados para este atributo limitam a avaliação subjetiva.

continua

Tabela 8.5 – Continuação.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.2 Maturidade de julgamento		
1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	N(2)	A opinião de outros especialistas, além do avaliador do risco, pode ajudar a confrontar estimativas otimistas. Entretanto, em times de projeto, é possível que um indivíduo sobreponha a sua opinião sobre os demais, levando a uma concordância do time, conforme identificado por Cooper (2008) em um contexto real. A literatura aponta que um dos melhores métodos para mitigar o viés de otimismo é obter a opinião de terceiros, idealmente não pertencentes ao escopo de projeto, entretanto é necessário considerável mobilização e disponibilização de recursos, conforme apontado em NASA (2018). As alternativas de decisão sobre este atributo não apresentam distinção entre a opinião/suporte de especialistas de fora do contexto do projeto (cujo risco está vinculado) ou internamente assim, o nível de influência deste elemento é considerado moderado. Obs. As alternativas de julgamento não foram modificadas pois a abordagem de opiniões externas ao contexto do projeto normalmente é realizada em revisões de projeto, enquanto ao longo da fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais revisões normalmente não são realizadas.
1.2.2 Nível de confiança do julgamento	P(3)	Segundo Lovallo e Kahneman (2003) e Kutsch et al. (2011) o viés de otimismo é característico quando há a sensação de controle sobre eventos e confiança na estimativa otimista, portanto, uma resposta de alta confiança no julgamento combinada com baixo nível de magnitude avaliada do risco (e.g., baixa probabilidade e impacto) e outros elementos contraditórios gera grande possibilidade de existência do viés de otimismo. Weber et al. (2002) e March e Shapira (1987) também sugerem que o sentimento de controle e gerenciamento da situação (realista ou ilusório) reduz a percepção da magnitude de risco de uma situação, assim, as decisões arriscadas são tomadas a partir da percepção do nível risco baixo da situação. Assim, este atributo possui alta influência e é positivamente relacionado ao viés de otimismo.
1.3 Maturidade de premissas		
Maturidade de premissas	N(2)	Se as premissas assumidas têm como referência situações reais, relevantes e comprovadas, existe pequena possibilidade de ocorrência do viés de otimismo. Entretanto, Kahneman et al. (2011) afirmam que a aceitação de premissas é facilmente vulnerável ao otimismo, portanto, o avaliador do risco pode desconsiderar a validade de premissas que vão de encontro à visão otimista adotada. Portanto, o nível de influência assumido para a maturidade de premissas é moderado e negativamente relacionado ao viés de otimismo.

continua

Tabela 8.5 – Conclusão.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.4 Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco		
1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco	N.A.	<p>A avaliação deste atributo foi construída de forma a limitar a subjetividade do respondente, entretanto, o maior nível atribuído de conhecimento pode estar vinculado a uma visão otimista. Segundo Lovallo e Kahneman (2003), uma das tendências mais fortes dos indivíduos é exagerar na percepção dos próprios talentos e habilidades, acreditando estar acima da média, assim, quanto maior o conhecimento, maior a chance de otimismo. Este comportamento também é sustentado pela crença de poder de controle direto sobre eventos (HUNZIKER, 2019), gerando otimismo.</p> <p>A característica de experiência no sentido de formação acadêmica não é um bom critério para verificação da existência de otimismo, pois não há resultados significativos desta influência (CHEN et al., 2013). Segundo Thomas (2018) há fraca evidência que sobre otimismo é mais forte para indivíduos com nível educacional menor e pesquisas do impacto da experiência no otimismo tem produzido resultados variados.</p> <p>Outras características podem fazer parte do julgamento na tentativa de identificar otimismo, Hunziker (2019) afirma que pesquisas tem mostrado que pessoas ansiosas são menos vulneráveis ao viés de otimismo e que a experiência real (vivência) com certos riscos pode reduzir o otimismo. Entretanto, este ponto de vista pode ser contra-argumentado quanto ao aspecto de familiaridade. Segundo Langer (1975) familiaridade normalmente gera a ilusão de controle e consequentemente otimismo. Os argumentos encontrados da literatura mostram que não há um consenso sobre o relacionamento do otimismo e o nível de conhecimento, portanto, este elemento é considerado não aplicável para a identificação do viés de otimismo.</p>
1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	N(3)	<p>Quanto maior o nível de exploração do assunto sob avaliação, menor é a chance de otimismo. Segundo Lovallo e Kahneman (2003), a inclinação de assumir que um assunto é plenamente conhecido e compreendido (por assumir que há alto nível de conhecimento e “talento”) é amplificado pela tendência de desperceber outras possíveis causas ou consequências de um evento.</p> <p>Portanto, quando o assunto do risco é pouco explorado, utilizando o argumento de que o risco é conhecido, há indícios de existência do viés de otimismo. Assim, é assumido que este atributo tem relacionamento inverso com o viés de otimismo e possui maior nível de intensidade.</p>
<p>Obs. A notação utilizada para apresentar os relacionamentos (lógica) consiste na combinação do sentido da relação (P - positiva ou direta ou N - negativa ou inversa) como prefixo e a intensidade de influência com representação numérica (alto-3, médio-2 ou baixo-1) entre parênteses ou não aplicável (N.A.)</p>		

Fonte: Produção do autor.

- Relacionamento lógico do índice de possibilidade de existência do viés da falácia de planejamento

Segundo Kahneman e Tversky (1977), o viés da falácia do planejamento está relacionado à subavaliação de custos, cronogramas e riscos, principalmente causado por adoção de uma visão interna ao projeto. Portanto, esse viés tem grande importância na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais, onde as primeiras estimativas programáticas, técnicas e de riscos de um projeto são realizadas.

Frequentemente os projetos da área espacial sofrem atrasos de cronograma e extrapolam as margens de custos inicialmente estabelecidas (BITTEN et al., 2013b). Isto ocorre, ao menos parcialmente, porque os riscos que identificam os possíveis desvios com relação ao planejamento são mal dimensionados, conforme resultados obtidos em Emmons (2017).

A construção dos relacionamentos entre os atributos do RKML com a possibilidade de existência do viés de falácia do planejamento busca indícios de que o foco do avaliador do risco não está apenas limitado às características internas da solução de projeto (*inside view* (LOVALLO; KAHNEMAN, 2003)), ou seja, se há evidências de utilização de referências externas. Para isso, na descrição das alternativas de decisão dos atributos 1.1.4, 1.3 e 1.4.2 foi adicionado um complemento: “externos à organização” para explicitamente indicar se as referências utilizadas constituem uma visão externa. A referência aos limites da organização para a definição da visão externa é utilizada de forma conservadora nestes atributos, garantindo uma visão independente. Entretanto, alguns argumentos sobre os relacionamentos são construídos com referência aos limites do projeto (i.e. contexto do risco).

Os relacionamentos lógicos, entre os atributos do RKML e a possibilidade de existência do viés de falácia do planejamento, e as justificativas que os suportam são apresentados na Tabela 8.6. Nota-se uma correlação e semelhança dos sentidos de relacionamento com o viés de otimismo, dado que a principal consequência observada nos riscos, para ambos os vieses, é o otimismo na avaliação.

Tabela 8.6 – Relacionamento lógico e justificativas para a análise de existência do viés de falácia do planejamento.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1 Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações		
1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	N(3)	<p>Segundo Buehler et al. (2002), as pessoas tendem a visualizar um problema como único, assim justificando o uso da visão interna (<i>internal view</i>) e rejeitando o uso de predições com base em eventos passados (<i>outside view</i>).</p> <p>Se existirem poucas características semelhantes entre os dados e informações de referência e o propósito desejado (i.e. objeto e contexto do risco sob análise) (alternativa C), há indicações que o problema pode ter sido visualizado como único e, conseqüentemente, há indicação de uma visão interna.</p> <p>Contrariamente, se características iguais ou semelhantes forem julgadas (alternativas A e B), pode-se afirmar que outras referências foram utilizadas durante a análise do risco e, portanto, não há uma visão única (interna) na estimativa das conseqüências do risco, reduzindo a chance da falácia do planejamento.</p> <p>Portanto, o sentido de relacionamento assumido é negativo e de intensidade alta.</p>
1.1.2 Fundamentos	N(3)*	<p>Se os dados e informações utilizados para a análise do risco tem procedência de campo (experiência em ambiente real) (alternativas A), é possível inferir que está sendo utilizado uma visão externa (<i>outside view</i>) aos limites do projeto para a avaliação do risco. Isso é justificado pois dados e informações provenientes de experiência de campo somente são possíveis de outros projetos já materializados (i.e. dado que o projeto em que o risco sob avaliação está relacionado está em fase de concepção).</p> <p>Entretanto, para dados e informações de origem teórico-experimental, não é possível afirmar qualquer relação, pois dados e informações derivados de simulações e análises podem ter sido construídos apenas com visão interna ao projeto (e.g., simulação de custos e cronograma).</p> <p>Portanto, o relacionamento assumido tem sentido negativo e de alta intensidade apenas para a alternativa A desse atributo.</p>
1.1.3 Disponibilidade e Facilidade de Acesso	N.A.	<p>A disponibilidade e facilidade de acesso não tem relevância quanto a possibilidade de existência da falácia de planejamento, dado que esse atributo (na forma projetada de avaliação) não gera evidências de utilização da visão externa (ou contrariamente, foco na visão interna), por não separar explicitamente estas duas visões.</p> <p>Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.</p>
1.1.4 Quantidade	N(3)*	<p>O atributo quantidade foi projetado considerando explicitamente evidenciar a existência de dados e informações externos à organização na alternativa de seleção (A). Assim indicando que uma visão externa pode ter sido considerada na análise do risco.</p> <p>Portanto, somente a alternativa (A) do atributo quantidade é considerada aplicável quanto indicação de diminuir a possibilidade de ocorrência da falácia do planejamento.</p> <p>Segundo Kahneman et al. (2011), a falácia do planejamento nasce da visão interna, focando exclusivamente no caso específico e ignorando o histórico de projetos similares. Portanto, o sentido de relacionamento é negativo, com alta intensidade e somente aplicável a alternativa (A).</p>
1.1.5 Precisão (dispersão)	N.A.	<p>Não há influência identificada para este relacionamento. A dispersão dos dados e informações não gera indicativos do uso de uma visão interna ou externa na análise do risco.</p> <p>Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.</p>

continua

Tabela 8.6 – Continuação.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1.6 Pragmatismo	N.A.	<p>Não é possível atribuir uma influência, considerando a seguinte argumentação: Se dados e informações externas (<i>outside view</i>) de experiências reais do passado estão sendo usados, serão considerados como reais. Entretanto, o pragmatismo dos dados e informações também pode ser afirmado quando estes são resultantes de simulações ou experimentos, possivelmente realizados apenas com a visão interna (<i>internal view</i>). Assim, gerando respostas iguais (e.g., alternativa A) para situações utilizando a visão externa ou somente interna. Esta argumentação, portanto, invalida a relação do atributo pragmatismo quanto indicador da existência da falácia do planejamento. Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.</p>
1.1.7 Ferramentas e Processos	N.A.	<p>O atributo de ferramentas e processos não distingue entre a obtenção de dados e informações por busca (e.g., fontes e referências) ou geração própria (e.g., modelos e análises). Consequentemente, não há como assumir qualquer relação de indicação de uma visão interna ou externa. Mesmo que a busca de dados e informações tenha sido externa ao projeto e organização, a descrição das alternativas de decisão não faz essa especificação. Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.</p>
1.2 Maturidade de julgamento		
1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	N(1)	<p>O nível de suporte de outros especialistas pode trazer outras visões e experiências ao julgamento do risco. Entretanto, esta nova perspectiva não é garantidamente uma visão externa. Além disso, as alternativas de decisão para avaliação desse atributo não fazem distinção com relação a uma visão interna ou externa. Entretanto, é possível admitir que outras perspectivas e opiniões sobre o julgamento do risco trazem questionamentos à avaliação já realizada. Ainda, a inclusão de outros especialistas na avaliação de um risco é o método reconhecido que melhor tem eficiência como limitante para a existência de vieses (em geral) (NASA APPEL KNOWLEDGE SERVICES, 2018). Portanto, assume-se um relacionamento negativo e de pequena intensidade.</p>
1.2.2 Nível de confiança do julgamento	P(2)	<p>Segundo Tversky e Kahneman (1974) as pessoas geram previsões otimistas e confiantes por enaltecer seus talentos (habilidades) e pela percepção de um alto grau de controle sobre o ambiente (<i>inside view</i>) e seus futuros desdobramentos. Colaborando com essa visão, segundo Zhang et al. (2007), indivíduos negligenciam ou evitam assumir evidências sobre previsões falhas do passado em projetos similares (<i>outside view</i>). Ou seja, quando a confiança no julgamento é alta, uma visão interna pode ser dominante e, ao mesmo tempo, uma visão externa estar sendo negligenciada. Consequentemente, um nível de confiança alto no julgamento do risco pode indicar uma forte visão interna, mas existem incertezas neste relacionamento que dependem de diversos outros fatores do contexto. Portanto, assume-se um relacionamento positivo com média intensidade.</p>

continua

Tabela 8.6 – Conclusão.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.3 Maturidade de premissas		
Maturidade de premissas	N(2)*	Se as premissas adotadas na análise de risco foram definidas utilizando informações e dados de experiências reais passadas de projetos similares de outras organizações, há indicação de uso de visão externa (<i>outside view</i>), portanto, diminuindo a possibilidade de existência da falácia do planejamento na análise do risco. A construção desse atributo apresenta somente na alternativa (A), uma indicação de uso de uma visão externa. Portanto, assume-se um relacionamento negativo de média intensidade somente considerando a alternativa (A).
1.4 Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco		
1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco	N.A.	O julgamento do atributo de conhecimento do assunto está sujeito a distorções como percepção (ou ilusão) de controle (HUNZIKER, 2019) e familiaridade (LANGER, 1975) sobre o risco, por maior que seja a experiência e formação acadêmica do especialista. Aparentemente, a experiência prática de um especialista em eventos de materialização de um risco (alternativa A), melhora a sua habilidade realizar projeções futuras do mesmo risco, entretanto Buehler et al. (2002) demonstraram que esta lógica não é verdadeira e que as falhas em projeções no passado frequentemente são desconsideradas (motivadas ou não) para projeções futuras. Assim, não é possível estabelecer uma relação do atributo de conhecimento do assunto envolvido como indicador da possibilidade de existência da falácia do planejamento na análise do risco. Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.
1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	N(3)*	O nível de exploração do assunto indica se há esforço deliberado ao longo da análise de risco, para buscar experiências passadas (e.g., lições aprendidas) ou pesquisas (teóricas e experimentais) que ajudem na formação de opinião sobre o assunto, que vão além da realização de análises, construção de modelos e simulações. A construção das alternativas (A e B) de avaliação desse atributo incluem “experiências externas à organização de projeto” como critério específico. Assim indicando que houve uma busca de visão externa e há robustez na construção de uma classe de referência (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979; LOVALLO; KAHNEMAN, 2003; FLYVBJERG, 2008). Portanto, assume-se um relacionamento negativo, com intensidade alta e validade apenas para as alternativas (A) e (B).

* Relação não é válida para todas as alternativas de seleção na avaliação do atributo pertencente ao RKML

Obs. A notação utilizada para apresentar os relacionamentos (lógica) consiste na combinação do sentido da relação (P – positiva ou direta ou N – negativa ou inversa) como prefixo e a intensidade de influência com representação numérica (alto-3, médio-2 ou baixo-1) entre parênteses ou não aplicável (N.A.)

Fonte: Produção do autor.

- Relacionamento lógico do índice de possibilidade de existência do viés de ancoragem

O viés de ancoragem tipicamente ocorre quando há pequeno conhecimento ou grande incerteza sobre um determinado assunto, portanto, ambiente facilmente encontrado na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais e especialmente durante a análise de riscos. Este viés pode afetar diversas etapas da análise de risco, mas principalmente na fase da avaliação.

Segundo Lengyel (2018), ao estimar probabilidade de ocorrência e consequências de um risco, o viés de ancoragem pode ser causado pela experiência e conhecimento de falhas ou anomalias já ocorridas. Os ajustes com relação à âncora assumida podem ser limitados por fatores perceptivos, falta de conhecimento adequado ou características do contexto do risco. Gadd et al. (2003) afirma que especialistas frequentemente adotam âncoras e tem resistência em admitir ou realizar novas estimativas.

A busca por evidências de existência do viés de ancoragem em uma análise de risco se dá através das características de conhecimento do avaliador do risco, da base de informações utilizada e indícios da utilização de mecanismos que evitam a ocorrência do viés. Os relacionamentos lógicos, entre os atributos do RKML e a possibilidade de existência do viés de ancoragem, e as justificativas que os suportam são apresentados na Tabela 8.7.

Tabela 8.7 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de ancoragem.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1 Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações		
1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	P(2)	<p>A comparação das características do objeto e contexto do risco (sob análise) com as características dos dados e informações de referência pode ser realizada de duas formas distintas. Segundo Epley (2004), quando a comparação busca semelhanças ou igualdades, a propensão à utilização de âncoras é fortalecida, pois aumenta a confiança do especialista e aumenta o efeito de acessibilidade. De forma oposta, quando a comparação busca desigualdades ou diferenças, aumenta a atenção de julgamento crítico, assim tornando-se o melhor mecanismo para evitar a ocorrência do viés de ancoragem.</p> <p>Assim, quanto maior é a semelhança identificada (relevância), maior é a chance de ocorrência do viés de ancoragem. Entretanto, a descrição das alternativas desse atributo não é explícita quanto a estratégia de comparação utilizada entre o risco sob análise e os dados e informações de referência.</p> <p>Portanto, assume-se um relacionamento positivo, com intensidade moderada.</p>
1.1.2 Fundamentos	N(3)	<p>Segundo Kahneman et al. (2011), a avaliação criteriosa das informações de referência pode ajudar no autorreconhecimento do viés de ancoragem em um julgamento (e.g., examinar a forma de obtenção dos dados e diferenciar claramente entre dados medidos e dados obtidos de estimativas).</p> <p>Quando a origem dos dados e informações é desconhecida (alternativa C), o avaliador do risco pode ter utilizado essas informações como âncora para a análise do risco. Resultando, portanto, em uma avaliação do risco com ancoragem em fonte duvidosa, o que é indesejável e prejudica a qualidade da análise do risco (BAZERMAN; MOORE, 2012b).</p> <p>Se os dados e informações são de campo (alternativa A), utilizando fontes confiáveis, pode haver ancoragem (devido a confiança plena do avaliador (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974)), mas neste caso, as âncoras tem base relevante e possivelmente não prejudiquem a análise do risco. Entretanto, não é possível garantir essa afirmação.</p> <p>Portanto, o relacionamento deste atributo é negativo e o seu nível de influência é considerado alto.</p>
1.1.3 Disponibilidade e Facilidade de Acesso	N.A.	<p>A literatura apresenta a acessibilidade (facilidade que conteúdos são disponibilizadas na mente (KAHNEMAN, 2003a)) como fator de influência no viés de ancoragem (EPLEY, 2004). Entretanto, o atributo de disponibilidade do RKML busca o julgamento da acessibilidade "física" de dados e informações e não mental. Assim não há uma relação entre a avaliação deste atributo com o viés de ancoragem.</p> <p>Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.</p>
1.1.4 Quantidade	N(2)	<p>Quanto maior é a quantidade de dados e informações analisados, menor é a chance de ocorrência do viés de ancoragem, pois há uma sustentação de conhecimento melhor sobre determinado evento e uma melhoria da qualidade da classe de referência (KAHNEMAN; LOVALLO, 1993). Entretanto, esta não é uma conclusão absoluta, pois o indivíduo pode estar "ancorado" mesmo com diferentes fontes e quantidade de dados disponíveis.</p> <p>Portanto, o relacionamento negativo e nível de influência moderado é adotado.</p>

continua

Tabela 8.7 – Continuação.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1.5 Precisão (dispersão)	N.A.	Se há convergência nos dados e informações e também compatibilidade com a natureza do fenômeno do risco sob análise, a possibilidade de ocorrência do viés de ancoragem é consideravelmente pequena. Entretanto, considerando que o processo de comparação (<i>comparative judgement</i> (EPLEY, 2004)) realizado na heurística da ancoragem pode estar orientado na busca de confirmações da âncora, o resultado da avaliação de convergência pode estar "viesado" e esse fato compromete a argumentação acima. Consequentemente, não é possível admitir influência desse atributo na possibilidade de existência do viés de ancoragem. Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.
1.1.6 Pragmatismo	N(3)	O questionamento sobre a realidade dos dados e informações utilizados na análise do risco quanto a existência de inconsistências, força o avaliador a mudar a hipótese de comparação (no sentido de buscar diferenças - dentro do processo de ancoragem (EPLEY, 2004)) entre a avaliação do risco realizada (adotada externamente dos dados e informações, e possivelmente sob viés de ancoragem) e o objeto/contexto do risco. Essa estratégia substancialmente diminui os efeitos da ancoragem (CHAPMAN; JOHNSON, 1999) e ativa a acessibilidade seletiva (MUSSWEILER; STRACK; PFEIFFER, 2000), implicando em pequena chance de ocorrência do viés. Portanto, o relacionamento deste atributo com o viés de ancoragem é negativo e de alta intensidade.
1.1.7 Ferramentas e Processos	N.A.	Conforme Caputo (2013) e Bazerman e Moore (2012b) a forma e as características de geração da âncora inicial são influências importantes para o nível de impacto gerado por este viés. Portanto, a maturidade de ferramentas e processos (disponibilização de dados) ganha importância quanto a qualidade de origem de uma possível âncora para o caso de âncora externamente adotada. Dado esta restrição (ancoragem externa), não é possível correlacionar este atributo com a possibilidade de existência do viés de ancoragem. Obs. Outro argumento que poderia estabelecer um relacionamento é quanto ao conhecimento sobre o assunto que, indiretamente através da maturidade das ferramentas e processos poderia ser inferido, mas para esse propósito, outros atributos do RKML já o expressam diretamente. Portanto, não é aplicável assumir um relacionamento.
1.2 Maturidade de julgamento		
1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	N(1)	A participação de outros indivíduos, presumidamente com julgamentos independentes, na análise de um risco indica pequena chance de ocorrência do viés de ancoragem. Hunziker (2019) enfatiza que é importante considerar e discutir os dados-base utilizados em julgamentos com outras pessoas. Entretanto, a ancoragem em grupo, denominada " <i>False Consensus</i> " (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2018) pode ocorrer. Portanto, o relacionamento é negativo com nível de influência baixo.
1.2.2 Nível de confiança do julgamento	N(3)	Segundo Jacowitz e Kahneman (1995), as pessoas que são mais confiantes em suas estimativas geralmente mostram menores efeitos de ancoragem. Portanto, o nível de confiança no julgamento é um fator importante (alta intensidade) e relacionado inversamente relacionado com a possibilidade de existência do viés de ancoragem.

continua

Tabela 8.7 – Conclusão.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.3 Maturidade de premissas		
Maturidade de premissas	N.A.	O atributo de maturidade de premissas não tem um relacionamento quanto indicador da existência do viés de ancoragem, dado que a sua forma de avaliação (alternativas de seleção) e propósito buscam expressar os fundamentos e maturidade referencial utilizados para sua definição. Enquanto, se o viés de ancoragem estiver atuando na análise de um risco, o avaliador não tem dúvidas ou incertezas sobre a ancora assumida, portanto, não a tratando como uma premissa.
1.4 Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco		
1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco	N(3)	Segundo Mussweiler e Strack (2000) e Epley (2004), indivíduos que possuem conhecimento em um assunto específico e, portanto, tem capacidade de gerar evidências consistentes com âncoras são menos influenciados pela ancoragem. Portanto, o conhecimento do assunto envolvido no risco é bastante importante quanto evidência da existência do viés de ancoragem na análise do risco. Obs. Os critérios "menos subjetivos" adotados nas alternativas de seleção para a avaliação do atributo, minimizam a sobre confiança do avaliador, gerando um indicador realista.
1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	N(3)*	O critério de comparação de diferenças a ser adotado na análise do risco define na alternativa (A) de avaliação desse atributo. Esta condição requer que o avaliador do risco tenha utilizado em suas avaliações, tanto comparativas (com informações e dados de referência) assim como de julgamento (medida ou descrição do risco), o critério de busca por inconsistências entre as bases de referência e o objeto/contexto do risco. Esta abordagem permite a acessibilidade seletiva (MUSSWEILER; STRACK; PFEIFFER, 2000), evitando o processo de confirmação de âncoras e induzindo o avaliador do risco a questionamentos que evitam a existência do viés de ancoragem. Portanto, este atributo tem um relacionamento inverso e de alta intensidade válido somente para a alternativa de seleção (A).
<p>* Relação não é válida para todas as alternativas de seleção na avaliação do atributo pertencente ao RKML Obs. A notação utilizada para apresentar os relacionamentos (lógica) consiste na combinação do sentido da relação (P - positiva ou direta ou N - negativa ou inversa) como prefixo e a intensidade de influência com representação numérica (alto-3, médio-2 ou baixo-1) entre parênteses ou não aplicável (N.A.)</p>		

Fonte: Produção do autor.

- Relacionamento lógico do índice de possibilidade de existência do efeito da ambiguidade

Existem diferentes definições para o conceito de ambiguidade, conforme apresentado no Apêndice E, que impactam no entendimento do viés efeito da ambiguidade. Assim, fazendo-se necessário assumir uma definição apropriada ao contexto de utilização.

A definição de ambiguidade, como o resultado da percepção do nível de conhecimento, apresentada por Frisch e Baron (1988) e também considerada por outros trabalhos como Tversky e Fox (1995), Keren e Gerritsen (1999) e Trautmann et al. (2008), é assumida neste trabalho. Neste contexto, o efeito da ambiguidade é definido como a aversão à seleção de alternativas que apresentem a percepção de falta de conhecimento (na visão do tomador de decisão) durante tomadas de decisão, algumas vezes levando a decisões inadequadas (demasiadamente otimistas ou pessimistas).

A avaliação de risco, tipicamente realizada pela atribuição de níveis de probabilidade de ocorrência e impacto, é uma atividade de decisão que utiliza uma base de referência. Naturalmente, o avaliador do risco tem preferência por base de referências não ambíguas (na percepção de conhecimento do avaliador), para a avaliação do risco. Entretanto, o fenômeno do risco sob investigação pode ter grande variabilidade ou há menor nível de conhecimento a respeito dele, gerando diferentes níveis de ambiguidade. Assim existe maior chance de ocorrer aversão à ambiguidade durante a avaliação do risco através de escolhas sustentadas por melhor conhecimento perceptivo. Ou seja, o avaliador atribui níveis de julgamento do risco que "fogem" de ambiguidade proporcionada pela percepção de conhecimento insuficiente provida pelo referencial utilizado.

Como consequência, uma avaliação inadequada, pessimista ou otimista é realizada pelo avaliador do risco. Quando há o julgamento otimista, o risco é considerado de menor magnitude e pode levar a surpresas indesejadas. Enquanto se o risco for julgado de forma pessimista, pode levar a robustez e o

uso de recursos desnecessariamente. Ambos os casos são prejudiciais, mas o maior impacto negativo se dá em escolhas otimistas.

A busca por evidências de existência do viés de efeito da ambiguidade em um risco, através da avaliação dos elementos do RKML, é realizada por relacionamentos lógicos com o nível de conhecimento do avaliador do risco, das características dos dados e informações utilizados na análise do risco e também da maturidade de julgamento ao longo do processo. Os relacionamentos lógicos, entre os atributos do RKML e a possibilidade de existência do viés de efeito da ambiguidade, e as justificativas que os suportam são apresentados na Tabela 8.8.

Tabela 8.8 - Relacionamento lógico e justificativas para análise de existência do viés de efeito da ambiguidade.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.1 Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações		
1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	N(1)	Quanto maior é a relevância dos dados e informações (adequação ao propósito e atualidade temporal), melhor é a base de referência para a percepção de conhecimento pelo avaliador do risco. Entretanto, não é possível afirmar quanto à inexistência de conflitos ou diferentes perspectivas entre os dados e informações, que venham à gerar diferentes níveis de ambiguidade na avaliação do risco. Portanto, o sentido de relacionamento deste atributo é negativo e de pequena influência.
1.1.2 Fundamentos	N(1)	Os fundamentos dos dados e informações tem importância significativa na percepção de conhecimento do avaliador do risco, entretanto, pode apresentar grande variabilidade (possivelmente associado a natureza do fenômeno), o que acaba trazendo incertezas quanto à avaliação do risco, assim, é atribuído pequeno nível de influência.
1.1.3 Disponibilidade e Facilidade de Acesso	N.A.	A influência deste atributo é considerada não aplicável quanto ao efeito da ambiguidade, dado que o grau de proteção estratégico dos dados e informações, que é inversamente relacionado ao atributo disponibilidade, não tem relação com a percepção de conhecimento do avaliador do risco, além de estar fora do seu controle. Entende-se que, independentemente do grau de disponibilidade dos dados e informações para a análise do risco, as características de incerteza não são evidenciadas por este atributo.
1.1.4 Quantidade	N(2)	Segundo a revisão de literatura de Keren e Gerritsen (1999), a maioria das teorias explicativas da aversão à ambiguidade estão relacionadas à percepção de falta de informações, como um componente principal na determinação do grau de ambiguidade. Entretanto, Melkonyan (2011) ressalta que as informações ambíguas sobre riscos (fonte referencial) podem ser resultantes de estimativas de risco conflitantes de múltiplas fontes, ou mesmo de uma fonte singular. Portanto, mesmo que este atributo não expresse se os dados e informações utilizados como base para a análise do risco sejam conflitantes entre si, a quantidade de dados e informações é importante neste relacionamento. Assim, o relacionamento do atributo de quantidade é negativo, mas considerando uma influência moderada devido a questão de informações conflitantes e ambiguidades internas que são avaliadas como um conjunto de outros atributos.
1.1.5 Precisão (dispersão)	N(2)	O atributo de dispersão dos dados e informações tem grande importância quanto à percepção de conhecimento do avaliador do risco, mas somente pode ter sua influência contabilizada, quando não há dispersão entre diferentes fontes de dados e informações, ou seja, há convergência. Pois, quando há dispersão ou não-convergência identificada, não se pode afirmar se está relacionada à natureza do fenômeno ou conflito de dados e informações entre diferentes fontes (justificado, por exemplo, por utilização de diferentes métodos e ferramentas). Dado que as alternativas de seleção para avaliação desse atributo foram construídas no sentido de convergência ou não convergência, formando apenas duas alternativas, o relacionamento negativo e de média influência é atribuído.
1.1.6 Pragmatismo	N(3)	A avaliação de realidade e, principalmente, da consistência dos dados e informações é um atributo importante que pode indicar a percepção de conhecimento do avaliador do risco sobre a base referencial utilizada na análise do risco. Portanto, o relacionamento é negativo e de alta influência.
1.1.7 Ferramentas e Processos	N.A.	Entende-se que a confiança nas ferramentas e processos de geração e de busca de dados e informações dão suporte à percepção de conhecimento do avaliador do risco, mas podem resultar em dados e informações controversas, assim, não sendo considerado um atributo de relacionamento com a existência do viés de efeito da ambiguidade.

continua

Tabela 8.8 – Continuação.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.2 Maturidade de julgamento		
1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	N(1)	O envolvimento de outros especialistas é uma boa abordagem no sentido de evitar uma avaliação do risco muito extrema (pessimista ou otimista) de forma geral. Entretanto, Trautmann et al. (2008) aponta para um fenômeno social denominado <i>fear of negative evaluation (FNE)</i> definido em Watson e Friend (1969), onde a aversão à ambiguidade aumenta com a percepção que outros são mais competentes e possuem maior conhecimento durante debates entre diferentes opiniões. Neste sentido, se um indivíduo escolhe uma alternativa ambígua e o resultado é ruim, este teme ser criticado por outros. Esta conclusão também foi realizada por Curley et al. (1986), de quanto maior o número de pessoas assistindo a uma decisão, maior é a aversão à ambiguidade. Assim, o relacionamento é inverso com um nível de influência pequeno.
1.2.2 Nível de confiança do julgamento	N.A.	O nível de confiança do julgamento, mesmo avaliado através do nível de incerteza (conforme alternativas projetadas para avaliação deste atributo), não traz uma relação clara entre a possibilidade de ocorrência do viés de aversão à ambiguidade. Supondo que a avaliação da confiança no julgamento é alta (i.e. as incertezas são bem conhecidas e o julgamento é seguro - alternativa (A)), o avaliador do risco pode ter utilizado a aversão à ambiguidade, por exemplo, desconsiderando referências (dados e informações) que apresentam uma percepção menor de conhecimento sobre o fenômeno e mantendo somente aquelas referências que sustentam um percepção de conhecimento maior (pequena incerteza), de forma a avaliar o risco de forma conservadora (e.g., atribuir níveis de probabilidade e consequência "mais seguros"). Uma segunda suposição, também considerando a avaliação de alta confiança no julgamento (seleção da alternativa (A)), o viés de aversão à ambiguidade pode não ter sido utilizado e, realmente, há um bom conhecimento do fenômeno pelo avaliador do risco. Assim, não há bases lógicas para criar um relacionamento entre este atributo e o viés de aversão à ambiguidade.
1.3 Maturidade de premissas		
Maturidade de premissas	N.A.	Assumindo que a própria adoção de premissas pode ser considerado um indicativo de aversão à ambiguidade, dado que limita o escopo de respostas do ambiente, independentemente do nível de estimação. Também é possível interpretar que a ausência de premissas indica um julgamento sem incertezas, permitindo-se concluir que o avaliador do risco tomou a decisão mais segura (na própria percepção de conhecimento) e evitou julgamentos com base em referências ambíguas e, portanto, caracterizando o viés de efeito da ambiguidade. Assim, não é possível construir qualquer relacionamento lógico entre este atributo e a existência do viés de ambiguidade.

continua

Tabela 8.8 – Conclusão.

Atributo do RKML	Lógica	Justificativa
1.4 Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco		
1.4.1 Nível de conhecimento do assunto envolvido no risco	N(2)	O conhecimento percebido da decisão (avaliação do risco) é o fator principal que influencia a ocorrência do viés da ambiguidade. Entretanto este não é avaliado diretamente neste atributo, devido à construção das alternativas de avaliação que estão em função de parâmetros "mais objetivos" de formação e experiência. Portanto, considerando que há algum nível de flexibilidade ou subjetividade na avaliação deste atributo, o relacionamento é negativo e de influência moderada.
1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	N(3)	O nível de exploração do assunto é um importante fator de influência na aversão à ambiguidade, dado que a percepção de conhecimento sobre as alternativas de decisão é o fator que gera o viés (TRAUTMANN; VIEIDER; WAKKER, 2008). Assim, quanto mais o assunto é explorado, melhor o conhecimento percebido do avaliador sobre todas as alternativas de decisão. Além disso, Baron e Hershey (1988) mostraram que, se ocorre um resultado negativo, quando um indivíduo seleciona uma alternativa que tem comparativamente menor conhecimento, a falha de sua avaliação é entendida como incompetência ou escolha desinformada. Enquanto Heath e Tversky (1991), se a alternativa escolhida representasse um risco maior, não haveria acusação de julgamento insuficiente mas, simplesmente, devido à falta de sorte. Portanto, este elemento tem relacionamento negativo e de alta influência na possibilidade de existência do viés de efeito da ambiguidade.

Obs. A notação utilizada para apresentar os relacionamentos (lógica) consiste na combinação do sentido da relação (P - positiva ou direta ou N - negativa ou inversa) como prefixo e a intensidade de influência com representação numérica (alto-3, médio-2 ou baixo-1) entre parênteses ou não aplicável (N.A.)

Fonte: Produção do autor.

8.1.2.2.3 Modelo para determinação da possibilidade de existência de vieses

A determinação da possibilidade de existência dos vieses em riscos declarados utiliza os relacionamentos lógicos apresentados anteriormente (Seção 8.1.2.2.2). Observa-se que a maioria dos atributos do RKML tem um relacionamento lógico inverso com a possibilidade de existência dos vieses. Isto se dá porque uma melhor avaliação dos atributos do RKML indica maior nível conhecimento e, portanto, indica menor possibilidade de ocorrência de um viés. Entretanto, existem exceções a este comportamento que estão refletidos nos relacionamentos.

O índice de possibilidade de existência ($IPE_{viés}$) foi desenvolvido neste trabalho para indicar a possibilidade de existência dos vieses. O modelo genérico de cálculo do $IPE_{viés}$ é apresentado na Equação 8.1, considerando os valores de maturidade ($aMS_{1.j.k}$) obtidos do julgamento dos atributos do RKML e os pesos resultantes dos relacionamentos lógicos ($w_{viés_atributo1.j.k}$), apresentados na Tabela 8.9.

$$IPE_{viés} = IPE_0 + \sum_{j=1}^{n_{1j}} \sum_{k=1}^{n_{1jk}} w_{viés_atributo1.j.k} \cdot aMS_{1.j.k} \quad (8.1)$$

Onde,
 $IPE_{viés}$ índice de possibilidade de existência do viés
 IPE_0 índice de possibilidade de existência do viés inicial (*default*)
 $w_{viés_atributo1.j.k}$ peso do relacionamento de existência do viés com o atributo RKML 1.j.k
 $aMS_{1.j.k}$ valor de maturidade do atributo do RKML 1.j.k

A determinação do $IPE_{viés}$ assume um valor inicial (IPE_0) que é dependente da estrutura de relacionamentos com os elementos do RKML, portanto diferente entre os tipos de vieses investigados. Por exemplo, para os vieses que possuem relacionamentos em ambos os sentidos (positivo e negativo), assume-se por valor inicial (IPE_0), que há 50% de possibilidade de existência dos vieses em um determinado risco sob análise. Neste exemplo, a avaliação dos atributos do RKML é considerada para a diminuição (subtração) ou aumento (soma) no valor do índice, de acordo com o sentido e nível de influência de cada relacionamento, conforme ilustrado na Figura 8.9.

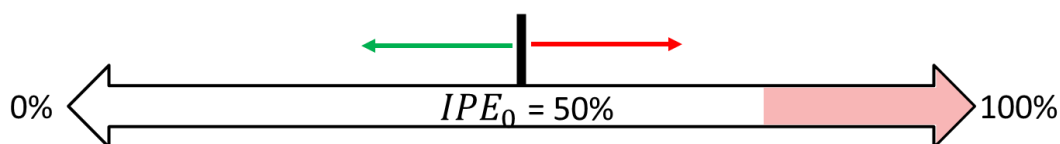
Tabela 8.9 - Determinação dos pesos considerados para o relacionamento entre a possibilidade de existência dos vieses com os atributos de avaliação do RKML.

i,j,k Atributo RKML		Viés do Otimismo		Falácia do Planejamento		Viés de Ancoragem		Efeito da Ambiguidade	
		S(IF)	w	S(IF)	w	S(IF)	w	S(IF)	w
1.1 Dados e Informações	1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	N(2)	-5%	N(3)	-10%	P(2)	33%	N(1)	-7%
	1.1.2 Fundamentos	N(1)	-3%	N(3)	-10%	N(3)	-8%	N(1)	-7%
	1.1.3 Disponibilidade	N(1)	-3%	NA	0%	NA	0%	NA	0%
	1.1.4 Quantidade	N(3)	-8%	N(3)	-10%	N(2)	-6%	N(2)	-13%
	1.1.5 Precisão (dispersão)	NA	0%	NA	0%	NA	0%	N(2)	-13%
	1.1.6 Pragmatismo	N(2)	-5%	NA	0%	N(3)	-8%	N(3)	-20%
	1.1.7 Ferramentas e Processos	N(3)	-8%	NA	0%	NA	0%	NA	0%
1.2 Julgamento	1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	N(2)	-5%	N(1)	-3%	N(1)	-3%	N(1)	-7%
	1.2.2 Nível de confiança do julgamento	P(3)	25%	P(2)	33%	N(3)	-8%	NA	0%
1.3 Nível maturidade de premissas		N(2)	-5%	N(2)	-7%	NA	0%	NA	0%
1.4 Conhecimento (entendimento)	1.4.1 Conhecimento do assunto envolvido	NA	0%	NA	0%	N(3)	-8%	N(2)	-13%
	1.4.2 Nível de exploração do assunto	N(3)	-8%	N(3)	-10%	N(3)	-8%	N(3)	-20%

S(IF) = Sentido (Intensidade de Influência)
w = $w_{otimismo_atributo1.j.k}$

Fonte: Produção do autor.

Figura 8.9 – Exemplo de representação lógica do cálculo do $IPE_{viés}$.



Fonte: Produção do autor.

Como o valor inicial (IPE_0) não é o mesmo para todos os vieses, modelos específicos para o cálculo de cada viés são apresentados na Tabela 8.10. O $IPE_{viés}$ resultante é um valor numérico (semiquantitativo) em uma escala de 0 a 100, representado por percentual, indicando a possibilidade de existência do viés.

Nota-se que os modelos do índice de possibilidade de existência do viés de otimismo ($IPE_{otimismo}$) e do viés do efeito da ambiguidade ($IPE_{efeito\ da\ ambiguidade}$)

assumem um IPE_0 diferente dos demais modelos. O viés do otimismo possui somente um relacionamento positivo, correspondente ao atributo do RKML: 1.2.2 Nível de confiança do julgamento, com intensidade de influência alta (nível 3). Enquanto os demais relacionamentos são negativos com relação à possibilidade de existência do viés. Essa característica define uma distribuição de importância igual (50%) entre os sentidos de relacionamento (positivo e negativo) que estão refletidas no sinal negativo ou positivo do peso de cada relacionamento. Entretanto, o viés do otimismo também pode estar relacionado com a avaliação das componentes do risco (e.g., probabilidade de ocorrência e impacto), quanto ao possível otimismo do avaliador, assim gerando um novo relacionamento e provendo robustez na determinação do $IPE_{otimismo}$.

Esse novo relacionamento é refletido no índice de possibilidade de existência do viés de otimismo relativo à avaliação do risco ($IPE_{otimismo(aval_risco)}$), que é adicionado ao modelo. Considerando os componentes de avaliação do risco a probabilidade de ocorrência e impacto, o $IPE_{otimismo(aval_risco)}$ é determinado por uma lógica SE, onde a possibilidade de avaliação otimista gera um aumento do $IPE_{otimismo}$, portanto, adotando uma abordagem conservadora, no sentido em que "penaliza" o índice, quando a avaliação dos componentes indica a possibilidade de otimismo.

Os valores definidos de $IPE_{otimismo(aval_risco)}$ para as diferentes condições lógicas, equivalem à metade do relacionamento positivo, ou seja, o peso total de 50% para o relacionamento positivo é igualmente dividido entre o relacionamento da avaliação dos atributos do RKML e a avaliação das componentes do risco.

O modelo do $IPE_{efeito da ambiguidade}$ também é diferente dos modelos dos demais vieses, por considerar o IPE_0 igual à 100. Esta peculiaridade se dá pois todos os relacionamentos da possibilidade de existência do viés com os atributos do RKML são negativos (ou inversos), portanto, não há elementos que contribuam no sentido positivo (aumento do índice). Assim, é assumido inicialmente que o viés existe no risco avaliado (considerando o valor máximo, ou seja, $IPE_0 = 100$) e, a partir, da avaliação dos atributos do RKML, o valor do índice é diminuído (descontado). Essa abordagem também é considerada

conservadora, pois assume a existência do viés na análise do risco e somente os níveis mais altos de avaliação dos atributos do RKML geram valores significativos para diminuição do índice.

Portanto, o conjunto de $IPE_{viés}$ para cada viés investigado, é o resultado representativo da percepção de risco do elemento RP&RB. É importante destacar que as informações disponibilizadas no RP&RB apenas indicam sinais de alerta a serem considerados pelo usuário na interpretação ou leitura dos riscos. Outros elementos de investigação são recomendados para conclusão da existência dos vieses sinalizados pelos resultados de $IPE_{viés}$.

Tabela 8.10 - Modelos individuais de determinação do índice de possibilidade de existência dos vieses.

Viés	Modelo
Otimismo	$IPE_{otimismo} = \left(50 + \sum_{j=1}^{n_{1j}} \sum_{k=1}^{n_{1jk}} w_{otimismo_atributo1.j.k} \cdot aMS_{1.j.k} \right) + IPE_{otimismo(aval_risco)}$ <p>Onde: $IPE_{otimismo(aval_risco)}$ índice de possibilidade de existência do viés de otimismo relativo à avaliação do risco (julgamento de probabilidade e consequência)</p> <p>Lógica para determinação do $IPE_{otimismo(aval_risco)}$:</p> <p>SE Probabilidade e Impacto altos, $IPE_{otimismo(aval_risco)} = 25$ SE Probabilidade ou Impacto alto, $IPE_{otimismo(aval_risco)} = 12,5$ SE Probabilidade e Impacto não altos, $IPE_{otimismo(aval_risco)} = 0$</p>
Falácia do planejamento	$IPE_{falácia\ do\ planejamento} = 50 + \sum_{j=1}^{n_{1j}} \sum_{k=1}^{n_{1jk}} w_{viés_atributo1.j.k} \cdot aMS_{1.j.k}$
Ancoragem	$IPE_{ancoragem} = 50 + \sum_{j=1}^{n_{1j}} \sum_{k=1}^{n_{1jk}} w_{viés_atributo1.j.k} \cdot aMS_{1.j.k}$
Efeito da ambiguidade	$IPE_{efeito\ da\ ambiguidade} = 100 + \sum_{j=1}^{n_{1j}} \sum_{k=1}^{n_{1jk}} w_{viés_atributo1.j.k} \cdot aMS_{1.j.k}$

Fonte: Produção do autor.

8.1.2.3 Comportamento e atitude ao risco

Este trabalho adota, respectivamente, as definições de comportamento e atitude ao risco, como a reação real e a orientação genérica de indivíduos quando confrontam situações de decisão que envolvam riscos, conforme apresentado na Tabela 8.11.

Tabela 8.11 - Definições, categorias e modelo conceitual adotado para os conceitos de atitude e comportamento ao risco.

Conceito	Definição	Categorias	Modelo conceitual
Atitude ao risco	Uma orientação genérica (como um mind-set) em direção a correr riscos ou evitar riscos quando se está decidindo como proceder em situações com resultados incertos (ROHRMANN, 2005).	(i) Propensão ao risco: atitude em direção a correr riscos; (ii) Aversão ao risco: atitude em direção a evitar riscos. (ROHRMANN, 2005)	Modelo de influência da atitude ao risco na avaliação subjetiva de riscos (Figura G.1). (ROHRMANN, 2008)
Comportamento ao risco	O comportamento real de um indivíduo diante de uma situação de risco (ROHRMANN, 2005).	(i) Assumir risco (ii) Evitar risco (ROHRMANN, 2005), (DOHMEN et al., 2011)	Modelo de avaliação subjetiva de risco (<i>Subjective Evaluation of Risk - SER</i>) (Figura 5.3) (ROHRMANN, 1998) (ROHRMANN, 2008)

Fonte: Produção do autor.

A importância de considerar a atitude ao risco e comportamento ao risco dos integrantes de um projeto, como forma de entender os resultados de decisões tomadas é enfatizada por diferentes trabalhos da literatura. Alexy et al. (2016) destaca a importância de conhecer a atitude e comportamento de todos envolvidos em um projeto e afirma que decisões tomadas não estão limitadas aos gerentes, mas existe autonomia de decisão em diversos níveis hierárquicos que impactam os resultados. Van Bossuyt et al. (2013) afirmam que o entendimento das atitudes ao risco de engenheiros é crucial para a interpretação das reações individuais em atividades correntes de engenharia, como as diversas decisões de projeto ao longo de diferentes domínios de risco. Hillson (2009) apresenta a influência dos diferentes estados de atitude ao risco no

comportamento de indivíduos nas etapas de um processo padrão de gerenciamento de risco, conforme a Tabela 8.12.

As decisões tomadas em diferentes etapas da análise de um risco impactam diretamente no conjunto de informações geradas sobre os riscos e, portanto, são dependentes do comportamento ao risco do avaliador do risco. Conforme o modelo SER (representado da estrutura multi-modelos na Figura 8.8), o comportamento ao risco é a reação ou ação final de um indivíduo que é influenciada pela atitude ao risco e percepção do risco. Portanto, comportamento ao risco é o elemento de interesse chave para informar os usuários dos resultados da análise de um risco, pois reflete a forma como o julgamento do risco foi realizado.

Neste contexto, a identificação da atitude ao risco é entendida apenas como uma forma ou meio de inferir o comportamento ao risco. Segundo Figner e Weber (2011), o entendimento da atitude ao risco somente se torna importante quando o propósito é alterar ou influenciar o comportamento ao risco em algum direcionamento, o que não é o objetivo do presente trabalho.

Entretanto, segundo Weber et al. (2002), se a avaliação de comportamento ao risco é realizada somente com propósito preditivo (i.e., propósito do RP&RB), ou seja, identificar como um indivíduo realiza decisões sob risco, pode ser suficiente observar o comportamento atual no domínio de interesse e descrevê-lo. Portanto, para propósitos de predição de comportamento, é irrelevante saber se o comportamento observado é o resultado de crenças sobre o nível de risco (percepção do risco) ou da atitude diante de um risco percebido.

Tabela 8.12 - Influências da atitude ao risco no comportamento para diferentes etapas do processo de gerenciamento de risco.

ETAPA DO PROCESSO	ATITUDE AO RISCO			
	AVESSO AO RISCO	TOLERANTE AO RISCO	NEUTRO AO RISCO	EM BUSCA DE RISCO
Iniciação do processo de risco	baixo limite ao risco, em busca de minimizar o nível do risco para o qual o projeto ou organização está exposto.	médio a alto limite ao risco, preparado para aceitar um nível de exposição como 'negócio normal'.	médio a alto limite ao risco, preparado para assumir o risco agora para atingir um retorno ou vantagem mais tarde.	alto limite ao risco, preparado para assumir mais riscos para ganhar os benefícios associados.
Identificação de risco	tendência de identificar muitas ameaças, mas ignora oportunidades, guiado pela preocupação que oportunidades podem distrair a atenção do gerenciamento de ameaças.	Pode tratar a identificação de risco como não importante, dado que riscos são aceitos como uma rotina de trabalho em projetos, levando a falhas na identificação de riscos.	Foco em identificar riscos com impactos de longo prazo, possivelmente ignorando riscos do projeto de curto prazo em detrimento daqueles que afetam fases posteriores ou operações pós-projeto.	Tendência de minimizar ameaças e forçar em oportunidades, guiado pelo desejo de assumir mais riscos positivos ao invés de maximizar desafios e benefícios potenciais.
Avaliação qualitativa de riscos	Superestimação de ameaças quanto à probabilidade e impactos, e subestimação de oportunidades.	Muitos (a maioria?) dos riscos avaliados como baixa probabilidade e baixo impacto.	Avaliações guiadas por aproximações (horizonte de tempo), riscos com maior proximidade são avaliados de maior probabilidade e/ou maior impacto.	Superestimação de oportunidades em termos de probabilidade e impactos, e subestimação de ameaças.
Planejamento de respostas ao risco	Seleção de estratégias agressivas e proativas para ameaças, e tendência de aceitar ou ignorar oportunidades.	Preferência para aceitação de riscos.	Estratégias de respostas guiadas por aproximação, sendo mais agressivo diante de riscos de curto prazo e aceitando riscos onde o potencial impacto é maior no futuro.	Seleção de estratégias agressivas e proativas para oportunidades e tendência de aceitar ou ignorar ameaças.
Implementação da resposta ao risco	implementação consciente de ações acordadas para ameaças, guiado pelo desejo de evitar ou reduzir exposição ao risco tanto quanto possível, ao mesmo tempo desatento para ações direcionadas às oportunidades.	Tendência de tratar as ações de risco com baixa prioridade, a serem somente implementadas se/quando 'atividades genuínas de projeto' são completadas.	Foca em ações aos riscos de alta proximidade onde o impacto pode ocorrer no curto prazo.	Tendência de ignorar ou postergar ações acordadas tendo como algo ameaças, e concentra em ações com objetivo de explorar ou maximizar oportunidades.

Fonte: Adaptada de Hillson (2009).

8.1.2.3.1 Método e modelo para representação do comportamento ao risco

Apesar do interesse generalizado de diferentes áreas (e.g., tomadas de decisão, psicologia, sociologia, biologia, medicina, economia, engenharia) em entender e identificar as pessoas que correm riscos (comportamento *risk takers*) e como se dá este processo, a literatura atual carece de consenso sobre a natureza do comportamento ao risco e sua medida, principalmente pela influência das questões fundamentais divergentes sobre a atitude ao risco.

Conforme a revisão de literatura realizada sobre os métodos de medida de comportamento ao risco, não há um método comprovadamente eficaz. Além de não haver convergência entre os resultados de estudos comparativos. Segundo Charness et al. (2013), uma questão principal em discussão acadêmica na área de tomada de decisão é o quanto a representação das preferências ao risco refletem o verdadeiro comportamento ao risco de um indivíduo.

Considerando a diversidade de métodos voltados para a identificação de comportamento ao risco (Apêndice G) e as necessidades e características do contexto de aplicação deste trabalho, o método de questionário direto, utilizando medida de propensão autodeclarada (preferência estabelecida) proposto por Dohmen et al. (2011) é selecionado para identificar o comportamento ao risco do elemento RP&RB.

Em um amplo estudo da população alemã, combinando dados de pesquisas e experimentos de campo, Dohmen et al. (2011) examinaram a associação entre preferências ao risco identificadas através de diferentes métodos e encontraram que a questão geral de disposição ao risco autodeclarada foi eficaz na predição de comportamento ao risco em um experimento de campo com recompensas monetárias reais.

Apesar das críticas de alguns autores, este método apresenta alta estabilidade temporal (teste-reteste) de medida de comportamento, conforme reportado em trabalhos como Markiewicz et al. (2020), Lönnqvist et al. (2015) e Charness et al. (2020), validade de convergência (*convergente validity*) entre diferentes abordagens de medida, e significativa validade de predição em resultados nos domínios econômico e de saúde, segundo (MATA et al., 2018).

Portanto, mesmo que, alguns estudos comparativos utilizando diferentes métodos como Alexy et al. (2016) e Charness et al. (2020) obtiveram fraca correlação preditiva aplicando o método de Dohmen et al. (2011), este método é utilizado para identificação de comportamento ao risco na composição do elemento RP&RB. As discussões sobre diferentes visões e resultados obtidos sobre o método de questionário direto e especificamente o método apresentado em Dohmen et al. (2011) são apresentadas no Apêndice K.

As razões principais para a adoção do método questionário autodeclarado de Dohmen et al. (2011), consistem na agilidade e simplicidade de aplicação, características essenciais para aplicação em ambientes de engenharia simultânea e fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.

Também colabora para esta decisão a limitação de aplicabilidade de outros métodos, com relação a necessidade de avaliação profissional e capacitada na área de psicologia para a apropriada aplicação e tratamento dos resultados.

Portanto, para a medida ou identificação do comportamento ao risco de um avaliador de risco, como parte do RP&RB, as duas versões da questão geral de risco de Dohmen et al. (2011) são adotadas, conforme abaixo:

- a) O quão disposto você está para correr riscos em geral?
- b) Como você se auto-avalia? Você geralmente é uma pessoa que está totalmente preparada para correr riscos ou você tenta evitar correr riscos?

Em Dohmen et al. (2011), os respondentes classificam sua disposição de correr riscos em uma escala ordinal de 0 a 10, constituindo uma escala do tipo *likert scale*, onde o valor zero representa a disposição: “de modo algum”, enquanto o valor dez representa “alta disposição em assumir riscos”. Enquanto neste trabalho foi utilizada uma escala entre 1 a 9 (i.e., intervalos igualmente distribuídos de disposição). Por fim, esta informação diretamente indica o comportamento ao risco de um respondente, conforme as categorias extremas de evitar riscos e assumir riscos.

A escala *likert* é uma ferramenta amplamente utilizada em outros trabalhos, inclusive da área espacial, como Emmons (2017) afirmando que esse instrumento é apropriado para medidas de atitudes e crenças (fenômenos subjetivos (FOWLER JR, 2013)), mesmo reconhecendo que este método de medida não é livre de erros. Enquanto Tsiga et al. (2016) também utilizam a escala likert para avaliar o comportamento relacionado à personalidade de especialistas em tomadas de decisão de projetos da área espacial.

8.1.3 Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão (TM&MCM)

O elemento TM&MCM representa os aspectos de maturidade da tecnologia relacionada ao risco sob avaliação em combinação com a maturidade da evolução da solução de projeto, provendo um conceito multivisões (específica e geral) para integrar a maturidade do risco.

A combinação dessas características representa a maturidade do contexto do risco e, portanto, indica o potencial de modificações do risco sob análise. Neste sentido, o TM&MCM é considerado um elemento dinâmico que corresponde ao estado do contexto do risco no momento de avaliação.

A NASA (2016a) enfatiza a importância da compreensão da maturidade tecnológica em projetos de sistemas espaciais e um acompanhamento persistente desta evolução e suas implicações para o projeto, desde o seu início, em estágio mais inicial possível de desenvolvimento conceitual. Portanto, para formação do TM&MCM, é necessário que a organização de desenvolvimento do projeto conceitual adote uma abordagem de TRA (Seção 6.1.1).

8.1.3.1 Conceitos e modelo do TM&MCM

A construção do TM&MCM utiliza elementos e conceitos já estabelecidos na literatura sobre maturidade tecnológica e evolução de projetos da área espacial. A partir da revisão de literatura, foram identificados e analisados conceitos de interesse e uma relação lógica entre estes é desenvolvida, formando o modelo para obtenção da medida TM&MCML.

8.1.3.1.1 Componente tecnológica no TM&MCM

A componente de maturidade da tecnologia tem como objetivo prover uma visão específica do grau de desenvolvimento de uma determinada tecnologia ou do conjunto de tecnologias associada(s) ao risco para informar ao stakeholder do risco a solidez (nível de estabilidade) quanto a potenciais mudanças do risco e sua avaliação.

Segundo Fernandez (2010) diversas ferramentas e técnicas para avaliação qualitativa e quantitativa de maturidade e prontidão tecnológica foram desenvolvidas. O conceito mais difundido na área espacial quanto a questão tecnológica é o TRL (MANKINS, 2009a), criado para superar uma necessidade de gerenciamento de projetos quanto ao acompanhamento do desenvolvimento de tecnologias (FRERKING; BEAUCHAMP, 2016). Além do TRL, outros conceitos foram desenvolvidos para superar algumas dificuldades TRL, complementar o TRL ou para suportar outros propósitos, como auxiliar em decisões de aquisições (SAUSER et al., 2010).

Os conceitos identificados da literatura como possíveis componentes do aspecto de maturidade tecnológica do TM&MCM foram avaliados. A Tabela 8.13 apresenta a consolidação dos argumentos e análises realizadas sobre os conceitos investigados, considerando o potencial de contribuição e dificuldades para composição do TM&MCM.

Normalmente os aspectos de maturidade são criados com a visão de gerenciamento, ou seja, com a visão de desenvolvimento (i.e. acompanhamento da evolução) de uma determinada tecnologia, assim, buscam alinhar o aspecto informacional da situação instantânea de maturidade da tecnologia. Neste sentido, alguns conceitos são construídos para representar o estado de maturidade para algum propósito específico, como a prontidão para infusão tecnológica, representar o nível de dificuldade de maturação tecnológica, representar os recursos necessários para maturação tecnológica, entre outros.

Tabela 8.13 - Análise de potencial contribuição e dificuldades da utilização de conceitos relacionados à maturidade tecnológica da área espacial.

Technology Readiness Level - TRL	
Contribuição	O aspecto de prontidão tecnológica apresenta o estado de uma tecnologia e provê uma linha de base técnica na qual a maturidade é avaliada. A partir desse estado, o desenvolvimento para estágios tecnológicos mais maduros pode ser definido (NASA, 2020). Portanto, o TRL implicitamente indica a maturidade do conhecimento existente sobre determinada tecnologia e é um conceito bastante difundido na área espacial (e outras), inclusive utilizado como elemento normativo, gerando familiaridade, facilidade de entendimento e utilização.
Dificuldades	O TRL isoladamente não provê uma série de aspectos relacionados à maturidade tecnológica, pois é um conceito voltado para prontidão em aspectos específicos de <i>form, fit and function</i> (ao uso específico) (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016). Dificuldades de interpretação e definições de terminologias, uniformidade de julgamentos de atributos subjetivos e quem é mais adequado para realizar o julgamento (HIRSHORN; JEFFERIES, 2016). Limitação de integração para níveis hierárquicos mais altos através do menor TRL (<i>weakest link</i>). Segundo Smith (2005), o TRL tende a distorcer muitos e diferentes aspectos de prontidão em um único nível, a integração sendo o mais problemático. Especialistas normalmente dão menor importância para tecnologias com herança em voo, entretanto, o TRL é avaliado de acordo com a aplicação específica (e.g., arquitetura e ambiente de aplicação), entretanto, as adaptações necessárias para uma aplicação diferente podem requer, inclusive, avanços tecnológicos que são negligenciados ou subestimados na avaliação somente do TRL (BILBRO, 2007).
Advancement Degree of Difficulty - AD²	
Contribuição	Em termos gerais provê as informações necessárias para desenvolver o planejamento de maturação da tecnologia em questão (e.g., recursos, custo, cronograma). Indica, portanto, o esforço necessário para atingir determinado objetivo de maturidade e aponta os principais desenvolvimentos tecnológicos críticos (BILBRO, 2007). Estas informações podem contribuir para a realização da análise de riscos.
Dificuldades	Necessita de uma visão ampla para sua avaliação, que normalmente está fora da visão do avaliador do risco (e.g., interfaces do projeto com a organização) e é um processo demorado (quando realizado formalmente); Não há um processo de avaliação bem estabelecido e conceitos formalmente reconhecidos. Segundo Bilbro (2007), a avaliação do AD ² é um dos maiores desafios do desenvolvimento tecnológico e requer a "arte da predição", cuja acurácia depende de diversos fatores como nível de especialização, nível de detalhamento da avaliação das atividades necessárias e revisão independente. Limita-se a uma visão de identificar questões de desenvolvimento e incorporação em um sistema, portanto, não avalia o estado tecnológico, necessitando de um conceito auxiliar (normalmente TRL) (MACDONALD, 2014).
Research and Development Degree of Difficulty - R&D³	
Contribuição	Apresenta o nível de dificuldade de progressão entre diferentes níveis de TRL, de acordo com um dado conjunto de objetivos de pesquisa e desenvolvimento. Também define a probabilidade esperada de sucesso (ou falha) de um conjunto de objetivos tecnológicos (MANKINS, 2009b). É considerado uma métrica que provê uma avaliação consistente do risco de desenvolvimento tecnológico (MANKINS, 2009a). Provê um entendimento do esforço de desenvolvimento e incertezas projetadas na probabilidade de sucesso do desenvolvimento tecnológico (MANKINS, 2009a).
Dificuldades	Dependente do conhecimento geral do avaliador sobre as pesquisas e desenvolvimento da área, não necessariamente dentro de um contexto específico de desenvolvimento (projeto). Limita-se a medir a dificuldade esperada a ser enfrentada na maturação de uma tecnologia particular (MACDONALD, 2014). Não é um conceito que foi amplamente adotado ou utilizado (MACDONALD, 2014).

continua

Tabela 8.13 – Conclusão.

Technology Need Value – TNV	
Contribuição	Provê a importância esperada na progressão tecnológica de uma determinada tecnologia para o sucesso de sua futura aplicação em um sistema (MANKINS, 2009b).
Dificuldades	Necessita da visão interna do projeto, critérios de sucesso, objetivos e estratégias, portanto, não deve ser avaliado por um especialista. O TNV, por se tratar da avaliação de importância esperada (técnica e gerencial) da maturação de uma determinada tecnologia para o sucesso de uma aplicação futura em um sistema, é um elemento que não tem relação com a fundamentação ou maturidade de um risco.
Risk Identification, Integration & Illities - RI³	
Contribuição	Identifica riscos técnicos devido a introdução de tecnologias em projetos, utilizando nove "illities": maturidade do projeto e estabilidade, escalabilidade e complexidade, integrabilidade, testabilidade, confiabilidade, manutenibilidade, fatores humanos, pessoas, organização e habilidades. (BILBRO; YANG, 2009).
Dificuldades	Necessita grande esforço e tempo para avaliação, além de profundo conhecimento sobre cada solução tecnológica e seu relacionamento com todo o projeto. Além de necessidade de conhecimento em todos os conceitos e métodos para avaliar as nove dimensões "illities". É um método pouco difundido na área espacial.
Integration Readiness Level - IRL	
Contribuição	Permite a identificação de maturidade das interfaces do sistema para otimização do processo de integração e indica os riscos de não atendimento de cada nível de maturidade. Corresponde a uma medida do interfaceamento de interações compatíveis para as diversas tecnologias e a comparação consistente de maturidade entre pontos de integração (SAUSER et al., 2010).
Dificuldades	Necessita a avaliação das interfaces e suas características, extrapolando a visão de um único especialista. Consiste de um processo complexo composto de múltiplas e iterativas atividades (SAUSER et al., 2010). Requer WBS ou arquitetura do sistema completa além da avaliação do TRL (SAUSER et al., 2010).
Manufacturing Readiness Level - MRL	
Contribuição	Provê o entendimento da maturidade associada à manufatura das tecnologias e, conseqüentemente, informações para a análise de riscos relacionados à manufatura (FERNANDEZ, 2010).
Dificuldades	Necessidade de conhecimento de aspectos de manufatura com principal utilidade em processos de aquisições. Normalmente não é tratado na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.
System Readiness Level - SRL	
Contribuição	Provê a prontidão de um sistema no ciclo de vida de engenharia de sistemas, utilizado principalmente para propósitos gerenciais (SAUSER et al., 2008).
Dificuldades	Necessita da avaliação dos TRLs e IRLs. Não pode ser utilizado comparativamente entre diferentes sistemas (diferentes contextos de desenvolvimento).

Fonte: Produção do autor.

O objetivo da maturidade tecnológica a ser incorporada no TM&MCM busca prioritariamente apresentar o potencial de instabilidade, relacionado a questão tecnológica, para as informações de um risco identificado e avaliado. Portanto, a premissa principal assumida é que o fator de instabilidade tecnológica pode afetar a descrição e julgamento de um risco, mesmo que este não esteja diretamente relacionado à questão técnica de maturidade tecnológica. Esta premissa é adotada pois durante a fase conceitual, as tecnologias associadas as soluções técnicas são avaliadas em alto nível, sem um detalhamento aprofundado, além das mudanças drásticas de arquitetura das soluções conceituais realizadas.

Através da análise dos conceitos relacionados a maturidade tecnológica e considerando os critérios desejados de constituição do TM&MCM, foram selecionados os conceitos de TRL e R&D³ conforme as contribuições potenciais e propostas de superação das dificuldades identificadas. O processo lógico de relacionamento entre o TRL e o R&D³ é apresentado na Tabela 8.14. As descrições dos relacionamentos, com referência aos identificadores ID1 aID4 são:

- a) [ID1] O TRL tem uma relação inversa com o R&D³: em um esforço normal de desenvolvimento, o nível de prontidão tecnológica aumenta progressivamente, enquanto o nível de dificuldade para materialização em pesquisa e/ou desenvolvimento tende a diminuir;
- b) [ID2] O TRL possui uma relação direta com o iRML: no sentido que um maior nível de prontidão tecnológica apresenta uma maior solidez nas informações e conhecimento disponíveis sobre a tecnologia associada a um risco, assim refletindo em uma maior estabilidade do risco identificado e avaliado;
- c) [ID3] O R&D³ é inversamente proporcional ao iRML: inferindo que a maior dificuldade de atingir os objetivos de pesquisa e desenvolvimento para uma tecnologia levam a um nível maior de incerteza, que é refletido de forma inversa ao iRML

- d) [ID4] A relação TRL/R&D³ é diretamente proporcional ao iRML: quando a prontidão tecnológica balanceada pela dificuldade de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia (relacionada ao risco) aumenta, o grau de estabilidade e fundamentos que sustentam a maturidade de um risco também aumentam.

Tabela 8.14 - Análise lógica da formação do componente tecnológico do TM&MCM.

ID	Condição	Consequência lógica
1	↑ TRL	↓ R&D ³
2	↑ TRL	↑ iRML (TM&MCML)
3	↑ R&D ³	↓ iRML (TM&MCML)
4	↑ TRL/R&D ³	↑ iRML (TM&MCML)

Fonte: Produção do autor.

O TRL/R&D³, portanto, é o estado de maturidade tecnológica ponderado pela dificuldade de evolução em pesquisa e desenvolvimento que pode ser entendido como uma forma de sensibilidade tecnológica do risco. Esta relação gera, analiticamente, uma amplitude resultante maior do TRL (alargamento do *range*), gerando uma tendência de degradação severa para R&D³ maiores.

A configuração de agregação dos elementos TRL e R&D³ tem como principal referência o conceito TRRA (MANKINS, 2009b) (Seção 6.1.1), onde os elementos TRL, R&D³ e TNV são agregados utilizando a abordagem de matriz de risco. Entretanto, o TM&MCM não utiliza a matriz de risco como forma de comunicação e não integra o TNV em sua construção por não convergir com os objetivos do iRM. Ou seja, enquanto o TNV está preocupado com o sucesso e valor da integração quanto a maturação de uma tecnologia para um sistema, o TM&MCM, como integrante do iRM está preocupado com a fundamentação dos riscos e sua estabilidade informacional como elemento de suporte para RIDM.

8.1.3.1.2 Componente de maturidade do projeto conceitual no TM&MCM

A componente que informa a evolução do projeto normalmente utilizada na área espacial é a fase de desenvolvimento do ciclo de vida em que o projeto se encontra ou o estado de linha de base do sistema. Cada fase corresponde a um determinado grau de maturidade da solução e demarca uma linha de base do projeto. Entretanto, o contexto de aplicação do conceito iRML para fase conceitual é tratada como uma única fase dentro dos modelos genéricos do ciclo de vida, inviabilizando sua utilização como parte do TM&MCM.

O conceito CML (*Concept Maturity Level*), criado por integrantes do JPL/NASA no contexto do *Innovation Foundry* (IF) (LEISING et al., 2010), introduzido na Seção 6.4.1, possui a capacidade de distinção de diferentes fases evolutivas da solução para missão em desenvolvimento dentro da fase conceitual (*Pre-Phase A – Concept Studies* da NASA (NASA, 2014)). Portanto, é o indicador que mede o grau de maturidade de conceitos de missão e é utilizado para gerenciar o desenvolvimento de projetos na fase inicial, desde a ideia inicial (*cocktail napkin*) até o projeto detalhado (*detailed baseline*).

Segundo (HIHN et al., 2020), a medida que o CML de um projeto conceitual aumenta, a incerteza dos diversos parâmetros técnicos e de custos reduzem, mas ainda há a necessidade de medir melhor qual é essa redução.

O CML, portanto, é incorporado ao TM&MCM, provendo uma visão geral da maturidade do conceito de missão. De acordo com o nível de maturidade típico de um conceito de missão atingido ao final de um estudo de fase conceitual em um ambiente de engenharia simultânea (i.e., *point design, no Team-X*) restringe-se os níveis de CML entre os níveis CML 1 ao CML 4. Este parâmetro representa o grau de estabilização (potencial de variabilidade) das soluções adotadas, refletindo na solidez da análise do risco, de forma que, quanto maior é a maturidade do conceito de missão, normalmente maior é o conhecimento sobre as incertezas relacionadas aos riscos, resultando no aumentando da maturidade do risco analisado em um determinado estado de desenvolvimento.

Cooper (2011) aponta a fase de projeto quanto ao nível de incerteza caracterizado por esta fase (e.g., mudança de requisitos principais) como uma

das dimensões que afeta a generalidade do modelo desenvolvido em seu trabalho (modelo integrado de formação pré-quantitativa de risco, apresentado na Seção 6.4.1) e propõe como pesquisa futura a avaliação dos impactos das fases de projeto na concepção e gerenciamento de riscos. Neste sentido, a utilização do CML no TM&MCM, consiste em uma forma de relacionar a maturidade do projeto (conceito de missão) com a maturidade do risco identificado e atende a restrição apontada no trabalho de Cooper (2011).

8.1.3.1.3 Modelo do TM&MCM e a sua medida

A combinação dos aspectos TRL, R&D³ e CML em um conceito único gera um indicador singular incluindo os aspectos evolutivos da solução em desenvolvimento (visão geral) e da tecnologia relacionada ao risco (visão específica com foco tecnológico).

O TM&MCM não é projetado para auxiliar, necessariamente, na questão de infusão de uma tecnologia, mesmo que utilize os elementos conceituais tipicamente adotados para este fim. Neste sentido, a identificação das necessidades não técnicas para a maturação da tecnologia não faz parte do conceito, assim esta medida não auxilia no planejamento não técnico para a maturação tecnológica.

A medida TM&MCML, obtida pela Equação 8.2, deve ser entendida como a representação da estabilidade e maturidade do contexto risco com ênfase tecnológica, considerando o estado atual e a previsão futura do instante de avaliação do risco.

$$\text{TM\&MCML} : \Leftrightarrow (\text{TRL/R\&D}^3) \times \text{CML} \quad (8.2)$$

Essa configuração gera uma medida da sensibilidade da maturidade tecnológica (TRL/R&D³) relacionada ao risco ponderada pela maturidade do conceito da missão (CML) sob análise, resultando em uma dependência entre os dois aspectos para a formação do TM&MCML. Conseqüentemente, o TM&MCML é maior para níveis de CML maiores, ou seja, resulta em maior maturidade iRML.

Essa dependência assume que CML menores, representam maior instabilidade para um risco identificado neste contexto, considerando os seguintes aspectos:

- a) menor CML indica menor nível de conhecimento sobre as soluções propostas e suas relações;
- b) menor CML indica um menor nível de detalhamento da solução;
- c) menor CML indica menor nível de exploração de potenciais riscos.

Em uma análise comparativa entre diferentes riscos, se o CML for o mesmo, ou seja, os riscos foram avaliados no mesmo estado de maturidade da solução de projeto, apenas a relação TRL/R&D³ modifica o valor final do TM&MCML, portanto, gerando uma diferença relativa apenas do ponto de vista tecnológico do contexto. Entretanto, em uma aplicação real de desenvolvimento de um projeto, os riscos são identificados e avaliados em diferentes momentos da maturidade do projeto (i.e., diferentes CMLs), resultando em maior importância para o CML nesta relação.

8.1.4 Maturidade da Organização ao Risco (ROM)

O elemento ROM apresenta a influência dos aspectos de maturidade relacionados à capacidade de gestão de risco da organização para os riscos analisados na concepção de uma missão espacial. O objetivo é disponibilizar aos stakeholders informações sobre o contexto ao qual pertence o risco, ampliando o escopo de conteúdo informacional disponível e permitindo um melhor entendimento e utilização dos resultados da análise de riscos visando, principalmente, suportar tomadas de decisão, que é o objetivo principal do iRM.

A identificação e avaliação de risco são resultados de um processo, imerso em um contexto organizacional e, portanto, a maturidade dos processos de análise de risco e a cultura da organização estão diretamente relacionados à maturidade de um risco identificado e avaliado por integrantes desta organização.

A importância do entendimento do contexto é também estabelecido de forma normativa pela ABNT/ISO (ABNT NBR, 2009) nos processos de estabelecimento de contextos externo e interno, dado a sua influência no gerenciamento de risco de um projeto. Destaca-se o contexto interno com a compreensão das capacidades de recursos e conhecimento (incluindo processos) e a cultura da organização de forma geral.

Segundo o relatório do programa de colaboração entre importantes organizações de gerenciamento de projetos (INCOSE; PMI; APM (UK), 2002), a atitude e cultura organizacionais podem construir ou destruir os esforços de gerenciamento de risco. O relatório ainda afirma que os projetos bem-sucedidos são aqueles que possuem forte apoio gerencial e que se apoiam no compromisso das pessoas e recursos orçamentários assim como na liderança garantindo a sua implementação. Enquanto gerenciamento indiferente e menos efetivos somente enfraquecem os esforços a longo prazo e permitem às pessoas uma maneira de evitar o uso de bons processos.

Diversos trabalhos na literatura enfatizam a importância da maturidade organizacional no sucesso de projetos e gerenciamento de riscos. Segundo Pence e Mohaghegh (2020) o contexto contemporâneo de sistemas sociotécnicos (*sociotechnical systems*) expande o escopo teórico de desempenho social além do indivíduo para considerar a organização como um todo e parte de um sistema sociotécnico. Neste entendimento fatores organizacionais incorporam aspectos sociais, como a cultura e o comportamento organizacional e também características estruturais como práticas e processos.

Raz et al. (2002) defendem que o gerenciamento de riscos em projetos deve ser parte da cultura organizacional de forma rotineira e estar presente em qualquer projeto e atividade realizada. As organizações devem aprender a aceitar que projetos tendem a sofrer resultados inesperados como parte da realidade e ficarem preparadas para estes eventos e reduzi-los ao máximo possível.

O estudo de Thamhain (2013) com 17 empresas de alta tecnologia através de dados de campo, mostra que as organizações são mais bem sucedidas na detecção e realização de ações para mitigação de riscos no início do ciclo de

vida de projetos, quando envolvem um conjunto interligado de variáveis relacionadas ao processo de trabalho, ambiente organizacional e pessoas. Isto requer uma abordagem ampla de liderança sofisticada, integração de recursos e uma visão compartilhada de gerenciamento de riscos além das fronteiras, prazos e espaço organizacionais.

Salawu e Abdullah (2015) defendem que é importante que os clientes tenham entendimento apropriado da capacidade de gerenciamento de risco de organizações anteriormente à realização de contratos, dada a importância deste aspecto para a realização de um projeto.

No contexto da construção de métodos DMDU (apresentado na Seção 3.3.1), autores como Stanton e Roelich (2021) e Cuppen et al. (2021) destacam a importância de considerar os aspectos organizacionais do contexto de decisão, como parte influente nas decisões.

Considerando a importância da maturidade ao risco de uma organização e a necessidade de gerenciamento desta maturidade, diferentes modelos de maturidade de gerenciamento de riscos (RM3) foram criados como ferramentas sistemáticas de avaliação do nível de maturidade das organizações, normalmente inspirados no modelo de maturidade de capacidades (CMM) de processos de desenvolvimento de software (YEO; REN, 2009) e modelos de maturidade de capacidades de gerenciamento de projetos (INCOSE; PMI; APM (UK), 2002).

Os modelos avaliados neste trabalho (introduzidos na Seção 4.2.1) têm suas principais características sumarizadas na Tabela 8.15. A busca de modelos de maturidade (organizacionais) de gestão de riscos e análise de aplicabilidade ao contexto do ROM/iRM resultou em modelos de aplicação gerais, como o RMM (HILLSON, 1997) e RMMM (INCOSE; PMI; APM (UK), 2002), assim como em modelos de aplicações mais específicas como o CoPS-RM-CMM (YEO; REN, 2009) para sistemas de produtos complexos e o modelo de Irizar e Wynn (2018) para a indústria automotiva. Dentro deste universo, os modelos genéricos possuem aplicabilidade e relevância para o contexto do ROM, entretanto, alguns

aspectos característicos de projetos complexos não são abordados nestes modelos, diminuindo a sua efetividade.

Esta característica foi atendida pelo modelo de maturidade de capacidade de gerenciamento de risco desenvolvido por Yeo e Ren (2009) para aplicações em sistemas de produtos complexos (CoPS (HOBDA, 1998)), que considera a complexidade de atividades e relacionamento humanos associadas através dos aspectos lógicos e sociais do gerenciamento de riscos. Portanto, a complexidade inerente de desenvolvimento devido ao grande número de produtos (sistemas) componentes, iterações entre humanos e atividades, são consideradas fontes principais de riscos e incertezas (YEO; REN, 2009).

Tabela 8.15 - Sumário das características de modelos de maturidade de gerenciamento de risco.

Modelo	Áreas de capacidade	Níveis de maturidade	Aplicação principal
Capability Maturity Model for Complex Product Systems Projects (CoPS-RM-CMM) (YEO; REN, 2009)	Cultura organizacional Coalizão de stakeholders Liderança Estrutura e suporte organizacional Identificação e planejamento de risco Análise de risco Mitigação de risco Integração e melhoria de processo Processo de gerenciamento de projeto Tecnologia	(5) Otimizado (4) Gerenciado (3) Definido (2) Inicial (1) Ad Hoc	Projetos de sistemas de produtos complexos (CoPS)
Risk Maturity Model (RMM) (HILLSON, 1997)	Cultura Processo Experiência Aplicação	(4) Natural (3) Normalizado (2) Novato (1) Ingênuo	Geral
Maturity Model for Project Risk Management - Automotive Industry (IRIZAR; WYNN, 2018)	Identificação de risco Avaliação de risco Alocação de risco Apetite ao risco	(4) Corporativo (3) Padronizado (2) Intermediário (1) Rudimentar	Projetos da indústria automotiva
Risk Management Maturity Model (RMMM) (INCOSE; PMI; APM (UK), 2002)	Cultura Processo Experiência Aplicação	(4) Gerenciado (3) Replicável (2) Inicial (1) Ad Hoc	Geral

Fonte: Produção do autor.

As características de definição de CoPS são amplamente aplicáveis a sistemas espaciais, inclusive apontado por Yeo e Ren (2009) como uma das áreas que tipicamente envolve o desenvolvimento de CoPS. Especialistas do INPE também apontam essa aplicabilidade de conceito como os trabalhos de Jesus e Chagas Júnior (2020) e Jesus et al. (2021) relacionados aos Projetos do Programa CBERS, desenvolvidos no INPE.

Segundo Yeo e Ren (2009), as áreas de capacidade avaliadas no modelo CoPS-RM-CMM, apresentadas na Tabela 8.16, foram estabelecidas com base na frequência de riscos identificados em projetos CoPS e organizadas em três categorias de capacidades: capacidade organizacional, capacidade dos processos de gerenciamento de risco e gerenciamento de projeto e capacidade tecnológica. As áreas de capacidade e os respectivos componentes avaliados estão, portanto, alinhados com elementos críticos do desenvolvimento de sistemas espaciais e refletem os aspectos organizacionais relacionados à maturidade do risco, que é o objetivo proposto do elemento ROM na composição do conceito iRM.

Portanto o modelo de maturidade CoPS-RM-CMM proposto por Yeo e Ren (2009) é utilizado neste trabalho para composição do iRM, na representação da maturidade da organização ao risco (ROM), entendido como a influência organizacional no risco sob análise, através da avaliação da maturidade de diferentes áreas de capacidade.

A organização a ser avaliada quanto ao nível de maturidade da capacidade de gerenciamento de risco é aquela de lotação do avaliador do risco, ou seja, é assumido que a cultura, os princípios, o conhecimento, a política e a maturidade de processos subjacentes ao risco estão relacionadas à maturidade da organização de origem do indivíduo que identifica e avalia o risco. Esta característica permite uma distinção entre os riscos avaliados por especialistas de diferentes organizações, dado que a fase conceitual pode, ou mesmo, é recomendável que envolva especialistas de diferentes contextos, incluindo o organizacional. Portanto, mesmo que a organização de realização do projeto

conceitual tenha uma maturidade diferente daquela do avaliador do risco, é esta segunda que é considerada no iRML.

Tabela 8.16 - Componentes, áreas e categorias de capacidades do modelo CoPS-RM-CMM.

Categoria / Área de Capacidade	Componentes
Organização e liderança	
Cultura e aprendizagem intraorganizacional	Ambiente de comunicação, gerenciamento e cultura de experiência e aprendizado (conhecimento), fluxo e disponibilização de informações.
Coalizão de stakeholders	Ambiente de relacionamento e colaboração, compartilhamento de visão do projeto (missão e objetivos).
Liderança	Democracia, motivação e manutenção da organização de projeto; vigilância da liderança com reconhecimento, avaliação, resposta, monitoramento, aprendizagem, e adaptação ao ambiente; gerenciamento e desenvolvimento de redes colaborativas; habilidades de negociação e influência.
Estrutura e suporte organizacional	Resiliência, adaptabilidade e robustez de estruturas (PBO vs FMO ¹), trabalho em equipe e colaboração (times flexíveis, projetos compartilhados), suporte do gerenciamento na liderança em atividades e cultura de conscientização de risco.
Processos	
Planejamento e identificação de riscos	Abordagem e plano de gerenciamento de riscos, estratégias, ferramentas e técnicas de identificação de riscos; fontes de riscos, áreas de impactos, eventos, suas causas e consequências potenciais.
Avaliação de riscos²	Estratégia de avaliação dos atributos do risco, critérios para avaliação, abordagem de comparação.
Mitigação de riscos	Critérios e abordagem de seleção de riscos para mitigação; estratégias de mitigação, monitoramento e controle de riscos.
Integração e melhoria de processos	Integração com outros processos de gerenciamento do projeto, eficácia do gerenciamento de mudanças e integração.
Processos de gerenciamento de projeto	Formalidade de abordagens e processos, adequabilidade de planejamento, maturidade da análise de requisitos, adequabilidade de envolvimento de pessoal, revisões e monitoramento, definição de papéis e responsabilidades.
Tecnologia	
Avaliação de fornecedores, competência técnica, planejamento e previsão tecnológica, mitigação de riscos tecnológicos, projeto detalhado e testes, capacidade de engenharia de sistemas e integração, ganho e transferência de conhecimento.	
¹ <i>Project-based organization</i> (PBO), <i>Functional matrix organization</i> (FMO)	
² <i>risk analysis</i> é definido em (YEO; REN, 2009) equivalente à definição de avaliação de risco utilizada no presente trabalho.	

Fonte: Adaptada de Yeo e Ren (2009).

O CoPS-RM-CMM é um modelo composto de cinco níveis, onde a maturidade de capacidades de gestão de risco de uma organização é classificada através de comparação das características da organização sob avaliação com descrições qualitativas formuladas por Yeo e Ren (2009), de duas formas complementares, apresentadas na Tabela 8.17. A primeira forma, de menor detalhamento, utiliza uma descrição geral de cada nível de maturidade, compreendendo genericamente as áreas de capacidade avaliadas no modelo. Enquanto a segunda forma, mais detalhada, utiliza a descrição individual de cada categoria de áreas de capacidade (organização e liderança, processos e tecnologia) para os cinco níveis de maturidade.

A medida de ROM, denotada por ROML (*risk organization maturity level*), constitui diretamente o nível de maturidade de capacidades da organização, derivado do modelo CoPS-RM-CMM. As duas formas de classificação (geral e detalhada) são admitidas ao propósito do iRML, entretanto, a forma de classificação genérica deve ser utilizada primeiro, enquanto a forma detalhada deve ser utilizada como suporte para solução de eventuais indefinições emergidas na classificação geral. Isto permite que a atividade de classificação de maturidade de capacidade seja suficiente utilizando a forma geral.

Tabela 8.17 - Caracterização dos níveis do modelo CoPS-RM-CMM.

Nível	Nível 1 Ad Hoc	Nível 2 Inicial	Nível 3 Definido	Nível 4 Gerenciado	Nível 5 Otimizado
Definição Geral	Nenhum entendimento dos princípios e linguagem de RM; RM de forma comentada; Praticamente nenhum suporte de nível executivo; Pequenos grupos de interesse; Nenhum esforço em reconhecer os benefícios do RM; Nenhum investimento em treinamento e educação em RM; Comportamento reativa aos eventos de risco, acostumado a "apagar incêndio".	Reconhecimento dos benefícios do RM; Suporte organizacional em nível de projeto; Algum reconhecimento inicial da necessidade de processos e metodologias de RM; Algum treinamento em RM; Experimentação em alguns aspectos de processos e aplicação de ferramentas de RM.	Processos de RM integrados definidos; Suporte gerencial para um sistema formal de RM; Retorno sobre o investimento em treinamento de RM; Comportamento proativo para riscos e ameaças; Lições aprendidas de projetos passados; Gerenciamento efetivo de riscos conhecidos / previsíveis; Principalmente visão interna nos níveis funcionais e de projetos.	Nomeação de um gerente de risco formal ou informal; Compartilhamento de riscos com outras partes; Arranjos institucionais: construção de coalisão, contratuais, arranjos legais; Capacidade de RM em rede ou alavancado & capacidade de inovação em rede; Foco maior em lidar com engenharia <i>front-end</i> & planejamento; Alta preocupação com riscos; Capaz de gerenciar com quase todos os riscos previsíveis e gerenciar alguns riscos emergentes; Processos de RM institucionalizados.	Colaboração e multiaprendizado de RM intraorganizacional e Inter projetos; Envolvimento de partes afetadas & stakeholders internos no processo de RM; Planejamento estratégico de riscos do negócio; Desenvolvimento de alianças estratégicas, arranjos organizacionais e parcerias com stakeholders externos; Habilidade para gerenciar riscos conhecidos e riscos emergentes.
Organização e Liderança	Falta de envolvimento e suporte de gerenciamento sênior; Sucesso do projeto depende de esforços individuais; Resistência a mudanças em uma cultura passiva; Nenhum aprendizado de projetos passados; Inconsciente da necessidade de gerenciamento de risco e incerteza; Pequeno ou nenhuma tentativa de aprendizagem com projetos passados ou preparação para projetos futuros; Orientação funcional.	Aceitação parcial de gerenciamento de risco; Atribuição inicial de responsabilidades e prestação de contas para riscos; Fraca orientação de times; Organização é boa em realizar trabalhos repetitivos; Estilo de coordenação de projeto.	Orientação de times razoavelmente alta; Treinamento informal de habilidades e práticas de RM; Preocupação com riscos no nível organizacional; Reconhecimento de "posse" dos riscos e alocação de riscos e responsabilidades; Orientação à atividades; Gerenciamento por objetivos do sistema; Matriz funcional.	Forte trabalho em equipe, mesmo com colaboradores externos; Treinamentos PM/RM formais e contínuos para times de projeto; Forte organização orientada a projetos e gerentes de projeto rigorosos; Consciência de risco no nível de rede (colaborativo) em CoPS; Flexibilidade organizacional e disposição à mudanças; Liderança e gerenciamento adaptativos; Matriz balanceada.	Forte cultura de consciência ao risco com abordagens proativas ao risco e gerenciamento de oportunidades na rede (comunidade) de CoPS; Utilização ativa de informações de risco e experiência prévia para ganhar vantagens (competitivas); Forte organização orientada a projeto, dinâmica, enérgica e flexível; Forte habilidades de negociação e habilidade de influenciar outras partes; Forte aprendizagem organizacional para facilitar inovação e geração de novas ideias; <i>Enlighted leadership and management</i> ; Matriz forte ou formatada a projeto.

continua

Tabela 8.17 – Conclusão.

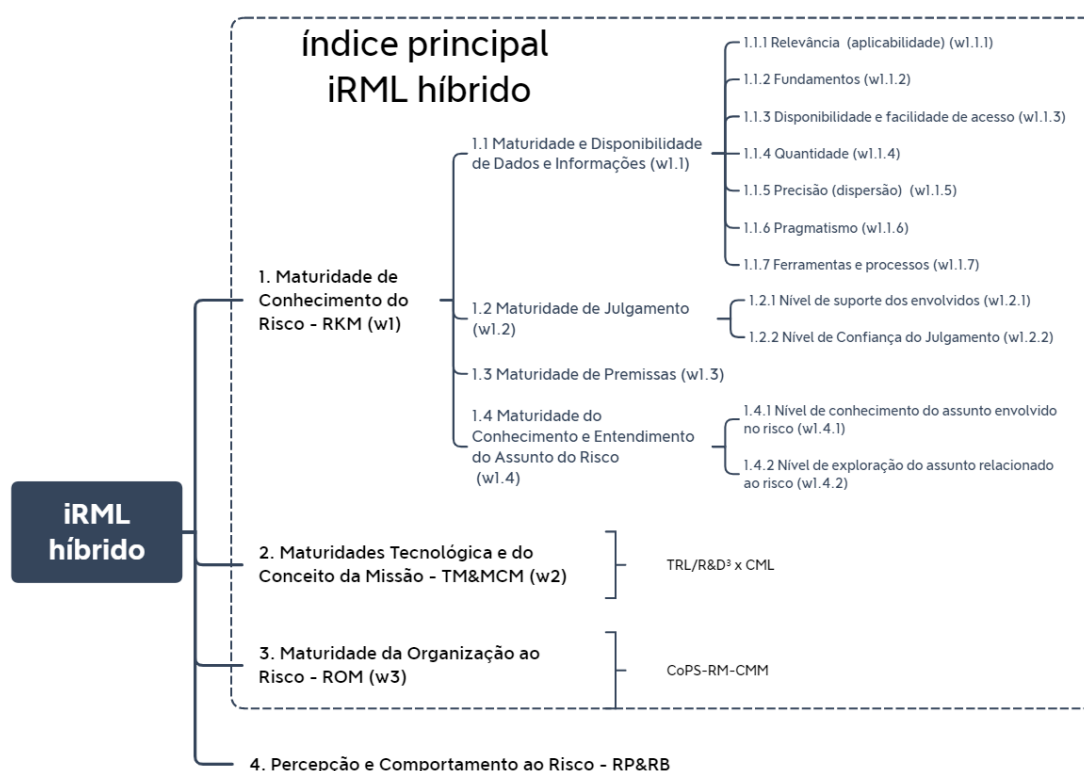
Nível	Nível 1 Ad Hoc	Nível 2 Inicial	Nível 3 Definido	Nível 4 Gerenciado	Nível 5 Otimizado
Processo	Nenhum processo de PM formalizado está disponível; Nenhum dado de PM é conscientemente coletado ou analisado; Nenhuma documentação de lições de projetos; Nenhuma ferramenta de gerenciamento de riscos em utilização.	Processos informais de PM estão definidos; Problemas de PM são raramente identificados e analisados sistematicamente; Dados fragmentados de risco são coletados; <i>Templates</i> simples e ferramentas de planilhas são utilizadas em algumas atividades.	Sistemas formais de planejamento e controle estão estabelecidos e aplicados; Sistemas formais de RM estão definidos para identificar, avaliar e mitigar riscos; Garantir monitoramento em tempo real de balanços e cronogramas utilizando método de ganho de valor (EVM) e análise de variância; Banco de dados formais de projetos mantidos; Utilização de <i>templates</i> bem estabelecidos, ferramentas de software para análise qualitativa.	Consistente e sistemático RM para portfólios de projeto; Dados e processos de PM são integrados internamente; Dados de processos de PM e RM são quantitativamente analisados, medidos e armazenados continuamente; Condução de revisões pós projeto e captura de lições aprendidas; Utilização de softwares sofisticados de simulação para análise qualitativa de RM.	Os processos de RM são continuamente melhorados e otimizados em desempenho; Desenvolvimento de uma rede colaborativa de coalizão e parceria com vendedores e contratantes; Manter bom relacionamento com autoridades governamentais; Cultivar benevolência com comunidades; Desenvolver e manter benevolência e relações de longo prazo com clientes; Processos de RM integrados nos processos de PM; Utilização de ferramentas de software sofisticadas para análises quantitativas e qualitativas com interpretação superior.
Tecnologia	Tecnologia básica e de pequeno alcance; Produtos mais simples e singulares.	Tecnologia de nível intermediário comprovada; Gama de produtos intermediária.	Tecnologia mais avançada, mas comprovada; Uso de montagem principal; Produtos complexos.	Tecnologia avançada, mas comprovada; Envolve montagem e integração de produtos complexos; Sistemas de produtos complexos (CoPS).	Tecnologia avançada e inovadoras; Envolve montagem e instalações múltiplas, complexas e de larga escala; Sistemas de produtos complexos (CoPS) e sistemas de sistemas (SoS).

Fonte: Adaptada de Yeo e Ren (2009) (tradução nossa).

8.1.5 Integração e Interface de comunicação do iRML híbrido

A construção do iRML híbrido se dá através de um modelo multiníveis (hierárquico), que combina as formas de expressão de seus elementos na formação de um conjunto informacional único. Os elementos RKML, RP&RB, TM&MCML e ROML, por sua vez, formam submodelos, conforme apresentados nas seções anteriores e uma forma de integração, denominada iRML híbrido, é apresentada na Figura 8.10.

Figura 8.10 – Visão geral da integração do iRML híbrido.



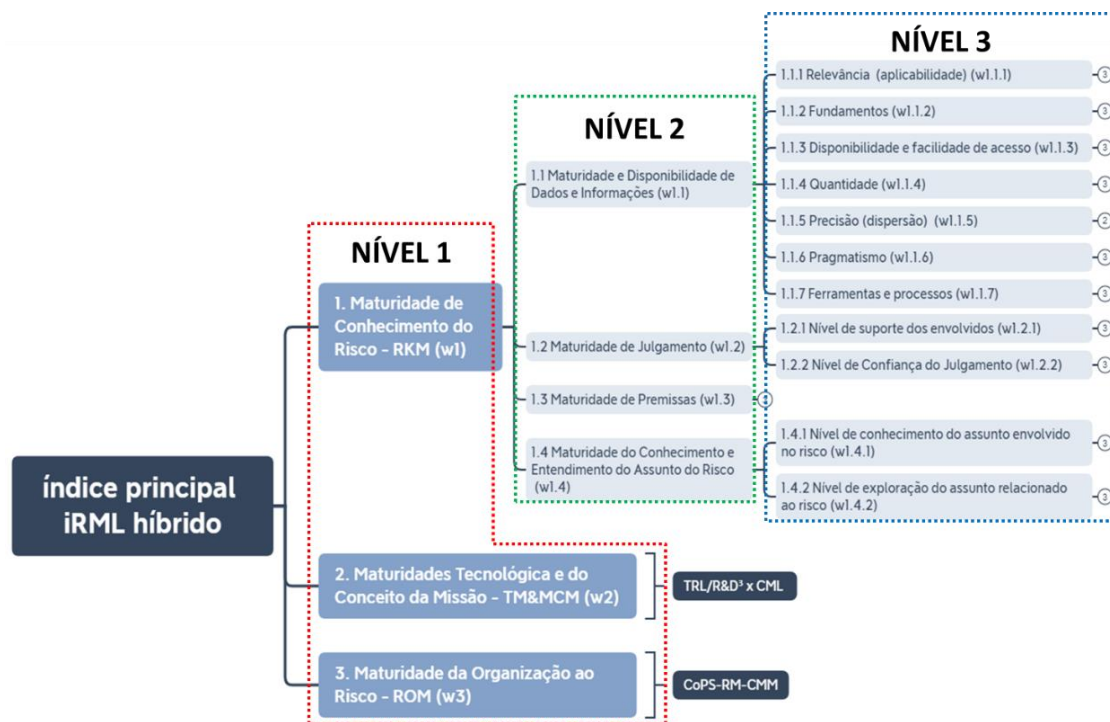
Fonte: Produção do autor.

O iRML híbrido assume uma forma multi-elementos, utilizando informações descritiva e índices numéricos semiquantitativos em um formato padrão de comunicação. Conforme os submodelos desenvolvidos, um índice principal (*soft metric*⁵) combina as medidas RKML, TM&MCML e ROML através de um modelo de agregação aditivo fundamentado na Teoria de Valor/Utilidade Multiatributos (MAVT/MAUT) (GRECO; EHRGOTT; FIGUEIRA, 2016). Enquanto o elemento

⁵ soft metric - medido através de julgamento subjetivo (SAUSER et al., 2008)

RP&RB é representado através de dois diagramas, um deles indicando a possibilidade de existência (IPE_{vies}), de cada um dos vieses investigados, e o outro representando o comportamento ao risco do avaliador do risco (descritivo). O modelo multinível utilizado para a construção do modelo analítico multicritérios, que combina as medidas RKML, TM&MCML e ROML, é representada na Figura 8.11. A estrutura hierárquica dos atributos apresenta três diferentes níveis de integração que formam um único índice. A definição desse índice trata-se de um problema de avaliação multicritérios (GRECO; EHRGOTT; FIGUEIRA, 2016), com o interesse de classificar os diferentes riscos sob análise afim de gerar um indicador global que represente os elementos constituintes para informar tomadas de decisão ou outras utilizações dos resultados da análise dos riscos.

Figura 8.11 - Hierarquia multinível dos atributos componentes na integração dos elementos RKML, TM&MCML e ROML.



Fonte: Produção do autor.

8.1.5.1 Modelo de avaliação multicritérios do iRML

A utilização de valores numéricos (semiquantitativos) utilizados na composição do índice principal do iRML híbrido representam, numericamente, julgamentos subjetivos (i.e. valor de maturidade de risco), portanto, um modelo fundamentado na Teoria de Valor Multiatributos (MAVT) (KEENEY; RAIFFA, 1976) é construído para a integração do índice principal do iRML híbrido. Segundo de Almeida et al. (2017) a MAVT e MAUT são classificados em métodos de síntese em critério único e estão baseados em um processo de combinação analítica de todos os critérios para produzir uma avaliação global de todas as alternativas de decisão em um problema.

Segundo Greco et al. (2016) no método MAVT, o valor dos critérios (atributos) assumem medidas numéricas que representam a preferência entre as alternativas de decisão. Um modelo matemático (função de agregação) multiatributos é associado a cada alternativa de decisão e a resolução gera o valor de importância individual da alternativa. A função de agregação (aditiva ou multiplicativa) combina os critérios utilizando os respectivos pesos de importância para resultar no valor final.

O Apêndice L apresenta os fundamentos básicos dos problemas de tomada de decisão multicritérios, os métodos de atribuição de pesos e os tipos de modelos de agregação multicritérios que fundamentam as decisões para a construção do modelo de avaliação do iRML híbrido apresentados nas próximas seções.

8.1.5.1.1 Métodos e flexibilizações de atribuição de pesos

A estrutura hierárquica não homogênea de atributos do índice principal do iRML híbrido forma três níveis distintos de integração. Para cada nível, diferentes estratégias de flexibilidade para atribuição de pesos de importância, foram definidos, conforme apresentado na Tabela 8.18. A flexibilidade de atribuição de pesos em dois níveis da árvore de atributos do iRML híbrido permite ao stakeholder selecionar a configuração do iRML mais apropriada à necessidade ou propósitos de decisão (RIDM).

Tabela 8.18 - Sumário de flexibilidade de métodos de atribuição de pesos e forma de avaliação dos níveis hierárquicos do índice principal do iRML híbrido.

Nível hierárquico	Método de atribuição de pesos	Forma de avaliação
3	Pesos iguais (EW)	Avaliação dos atributos através das alternativas de seleção.
2	Direct (DR) ou SMARTER (Swing rank, ROC)	Agregação aditiva do nível inferior.
1	Direct (DR) ou SMARTER (Swing rank, ROC)	Agregação aditiva do nível inferior para o RKML; Avaliação dos elementos TRL, R&D ³ e CML para o TM&MCML; Avaliação do nível CoPS-RM-CMM para o ROML.

Fonte: Produção do autor.

O nível 3 integra os elementos de mais baixo nível da hierarquia do iRML e tem aplicabilidade somente aos elementos do RKM, com exceção da maturidade de premissas (nível 2). Esses atributos são avaliados através do sistema de seleção de alternativas do RKML, ver Tabela 8.3, e tem como característica valores de maturidade individuais (aMS_{ijk}) fixados. Os valores de maturidade foram julgados de acordo com o nível de contribuição de cada alternativa, similar ao método Direct (DR), atribuindo um valor subjetivo no range de [0,100] para o contexto de análise de risco na fase de concepção de sistemas espaciais.

Portanto o nível 3, diferentemente dos demais níveis, não permite flexibilidade de método de atribuição de pesos e adota o *equal weights* (EW) (DAWES; CORRIGAN, 1974), definido através da Equação 8.3. Três motivos principais são apresentados: simplificação de construção do modelo (mecanismos de cálculo), agilidade na configuração da ferramenta e menor nível de conhecimento exigido do stakeholder sobre os processos internos do método e das necessidades da tomada de decisão.

Existe uma complexidade inerente da avaliação de importância dos atributos, pois exige conhecimento sobre o processo de desenvolvimento, tornando o processo mais lento e com ganhos pouco significativos devido a relativamente pequena sensibilidade do nível 3. Segundo Dawes e Corrigan (1974) e Einhorn e Hogarth (1975), o uso de pesos iguais assume que não há informações sobre o grau de importância relativa ou a classificação de importância não possui consequências (significativas) para a decisão.

$$w_j = \frac{1}{n}, j = 1, \dots, n. \quad (8.3)$$

Onde

n número de atributos

w_j peso do atributo j

A flexibilidade de diferentes opções de métodos para atribuição de pesos dos níveis hierárquicos 1 e 2 permite ao stakeholder adequar o nível de informações a ser assumido na determinação dos pesos dos atributos, ou seja, a decisão sobre a utilização do método está diretamente relacionada ao nível informacional que o usuário está disposto ou possui confiança para o julgamento. Considera-se que, normalmente, os stakeholders são externos ao contexto do projeto e não possuem conhecimento:

- a) do processo de desenvolvimento da organização de projeto (e.g., CPRIME, TEAM-X, CDF);
- b) das especificidades da disciplina Análise de Riscos (teorias, processos e ferramentas);
- c) de conhecimento geral sobre as teorias e métodos de tomada de decisão.

A partir da análise de diferentes métodos de atribuição de pesos propostos na literatura, conforme apresentado no Apêndice L, suas limitações, potenciais problemas e as necessidades do contexto de aplicação do método resultaram na seleção dos métodos DIRECT (DR) e SMARTER (parcialmente) para o modelo o índice principal do iRML híbrido. Os níveis 1 e 2 da hierarquia de atributos possuem, respectivamente, três e quatro componentes (atributos específicos) de naturezas claramente distintas, levando à baixa dificuldade de julgamento de importância entre eles se os objetivos de decisão estão definidos. Permitindo a seleção de métodos que tem agilidade e facilidade de entendimento para implementação.

O método DR consiste na alocação direta de valores no range [0, 100] para todos os atributos, através da importância individual de cada atributo para o propósito de decisão. Neste método, os atributos podem ser associados com qualquer

valor dentro do intervalo, não necessitando somar 100 e a formação dos pesos se dá pela normalização dos valores alocados, conforme apresentado na Equação 8.4. Portanto, é um método que utiliza a avaliação subjetiva do respondente de forma flexível, mas necessita que os objetivos de decisão estejam bastante claros. Este método também permite o uso do EW, desde que os valores de importância alocados aos atributos sejam iguais para todos os atributos e diferentes de zero.

$$w_i = \frac{Pontuação_i}{\sum_{i=1}^n Pontuação_i}, i = 1, \dots, n \quad (8.4)$$

Onde

n número de atributos

w_i peso do atributo i

$Pontuação_i$ valor de importância atribuído ao atributo i

Doyle et al. (1997) e Pena et al. (2020) apontam alguns problemas na utilização do método DR, quando a avaliação é realizada por múltiplos indivíduos: a alocação numérica direta não garante que os avaliadores tem a mesma percepção de cada número (e.g., para o avaliador conservador 70 é um valor alto) e os mecanismos cognitivos dos avaliadores de transformar conhecimento em valores numéricos podem ser diferentes em cada caso e também pouco regulados, gerando uma fonte de incerteza. Esses autores também apontam dificuldades gerais de utilização do método como a preferência por uma parte específica da escala de valores (bloqueio de uma das extremidades da escala) que é uma característica intrínseca dos humanos e o tratamento de dependência entre os atributos, mesmo que esta não exista. Os problemas intrínsecos de natureza psico-cognitivas da utilização do método DR são tratados de forma informacional ou discursiva, ou seja, não há um tratamento específico para eliminar tais questões, mas alertas para observação dessas questões devem ser comunicados aos usuários do método.

O método SMARTER proposto por Edwards e Barron (1994) é um método completo para avaliação de alternativas de decisão, criado para superar alguns problemas do seu antecessor, o método SMART (EDWARDS, 1977). Uma revisão da literatura sobre os dois métodos é apresentada no Apêndice L para contextualização.

Para o interesse de aplicação no índice principal do iRML, considera-se apenas parcialmente o método SMARTER, quanto as etapas de classificação de importância dos atributos (*swing rank*), usando apenas a classificação de importância (*ranks*) dos atributos e o procedimento para atribuição de pesos (*Rank-Order Centroid - ROC*) propostos no SMARTER.

Os procedimentos extraídos do SMARTER consistem em duas etapas, onde a primeira depende do usuário do método e consiste em "varrer" o intervalo dos atributos em um exercício mental denominado *swing rank* e uma segunda etapa, que consiste do cálculo dos pesos (*surrogate weights*) utilizando um método matemático baseado em geometria chamado *Rank-Order Centroid* (ROC) desenvolvido por Solymosi e Dombi (1986).

O *swing rank* visa determinar a classificação ordinal de importância dos atributos de julgamento de forma que o usuário percorra todo o intervalo (do limite máximo ao limite mínimo) dos atributos através do seguinte procedimento: imaginar a avaliação de todos os atributos de uma alternativa hipotética (neste caso, um risco hipotético) iguais a zero e, através de rodadas sequenciais, questionar qual dos atributos remanescentes deve ser elevado à máxima pontuação em cada rodada, ou seja, qual atributo gera maior valor à tomada de decisão. A ordem dos atributos definida, gera a classificação de importância (EDWARDS; BARRON, 1994).

O método ROC (SOLYMOSI; DOMBI, 1986) tem como fundamento a teoria de centroides da geometria, onde o centroide de um simplex (forma geométrica definida através de n vértices) consiste do ponto natural de equilíbrio do conjunto de pesos dos atributos, caso não existam outras razões mais importantes de preferência. Assim o método ROC utiliza apenas a classificação ordinal de importância de atributos na determinação de pesos através da Equação 8.5.

$$w_i(ROC) = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}, i = 1, \dots, n \quad (8.5)$$

Onde:

$w_i(ROC)$ peso do i éximo atributo via método ROC

n número de atributos

j ordem na classificação ordinal de importância

Diversos trabalhos da literatura, como Barron e Barret (1996b), Barron e Barret (1996a), Ahn (2011) e Kunsch e Ishizaka (2019) afirmam que o uso de pesos ROC resultam em maior desempenho em termos de identificação da melhor alternativa de decisão (*hit rate*) e correlação de ordem de classificação (*kendall's τ* ou *value loss*) dentre os métodos de definição de pesos via classificação de atributos.

A Tabela 8.19 resume os principais motivadores para a seleção dos métodos DIRECT e SMATER (Swing rank e ROC) para definição de pesos dos níveis 1 e 2 do índice principal do iRML híbrido.

Tabela 8.19 - Métodos propostos de atribuição de pesos para os níveis 1 e 2 da hierarquia de atributos do iRML híbrido.

Método	Motivadores
DIRECT	<ul style="list-style-type: none"> • reflete a importância percebida de cada atributo diretamente • permite que diferentes insights sejam usados para a determinação dos pesos (não limitante como outros métodos) • produz pesos aproximadamente lineares (ausência de distorções) • é mais estável e confiável (teste-reteste) quando comparado com o Point Allocation (PA) • é preferível pelos avaliadores quando comparado com Point Allocation (PA)
Swing Rank	<ul style="list-style-type: none"> • evita a arbitrariedade na definição de classificação de importância dos atributos, direcionando o foco do avaliador • considera ambos: importância e range do atributo para a classificação (devido ao mindset swing: do pior nível para o melhor nível)
ROC	<ul style="list-style-type: none"> • evita erros de identificação dos pesos • tem bom resultado (na escolha da melhor alternativa de decisão e confiabilidade de teste-reteste) comparativamente com outros métodos de definição de pesos substitutos que utilizam classificação de importância (rank-orderd methods). • fundamentado em teoria sólida (geometria – simplex; programação linear) • método simples que necessita somente da classificação de importância dos atributos • absorve eventuais gaps de indefinições

Fonte: Produção do autor.

A flexibilidade de uso de diferentes métodos de atribuição de pesos para a configuração do iRML, de forma geral, apresenta a vantagem de permitir ao usuário do método iRM/iRML a utilização do nível mais adequado para o propósito de decisão desejado (RIDM). Entretanto, a atribuição de diferentes pesos para os elementos (nível 1) e classes de atributos (nível 2) do iRML define

um modelo único, que não necessariamente necessita ser replicado para outras aplicações, o que inviabilizaria a comparação de riscos utilizando o iRML entre diferentes aplicações. Portanto, ao adotar a flexibilização de pesos no iRML, a organização deve avaliar a utilização de um modelo mais rígido ou um modelo que permite a flexibilidade com relação a viabilidade realizar análises comparativas.

8.1.5.1.2 Modelo de agregação do índice principal do iRML híbrido

O modelo de agregação aditivo é utilizado para definição do índice principal do iRML híbrido, conforme as características de menor complexidade e atendimento dos critérios para utilização do modelo. A condição de monotonicidade (*monotonicity* (EDWARDS, 1977; DE ALMEIDA et al., 2016)), como forma de verificação de independência de valor, é atendida para todos os atributos do iRML, no sentido que o aumento do valor de um determinado atributo tem o mesmo sentido de relacionamento para o iRML de todos os riscos. A condição de independência mútua de preferências (*mutual preferential indepenence* (GAN et al., 2017)) também é verificada, pois as mudanças de ordem de importância entre os atributos não alteram a ordem de preferência dos demais. Portanto, permitindo o uso do modelo aditivo de agregação.

A notação geral do modelo para definição do índice principal do iRML híbrido (integração das medidas RKML, TM&MCML e ROML) é apresentada na Equação 8.6. Nota-se que a formação do modelo se dá pela agregação dos três níveis hierárquicos de atributos (onde o nível 1, 2 e 3 são respectivamente representados pelos índices i , ij e ijk), representados pelas somatórias do valor de maturidade combinado com o respectivo peso de cada atributo. Os valores de maturidade dos atributos são normalizados no intervalo de $[0, 100]$, permitindo a realização das operações e resultando em um valor final numérico, normalizado na escala $[0, 5]$.

$$iRML (principal) = (w_1 \cdot RKML) + (w_2 \cdot TM\&MCML) + (w_3 \cdot ROML) \quad (8.6)$$

Onde,

$$RKML = \sum_{j=1}^{n_{ij}} w_{ij} \cdot \left(\sum_{k=1}^{n_{ijk}} w_{ijk} \cdot aMS_{ijk} \right) \quad (8.7)$$

$$TM\&MCML = \left(\frac{TRL}{R\&D^3} \right) \cdot CML \quad (8.8)$$

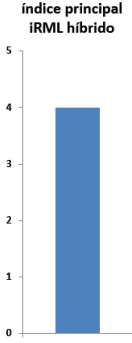
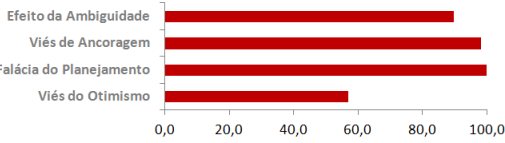
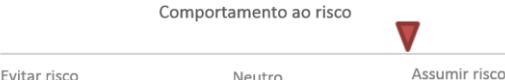
$$ROML = CoPS-RM-CMM$$

8.1.5.2 Forma de comunicação do iRML híbrido

A Tabela 8.20 apresenta a forma de integração e a forma de gráfica de representação dos elementos do iRML, de acordo com os modelos desenvolvidos. A representação do índice principal do iRML híbrido em uma escala permite uma rápida transmissão de informação sobre o estado de maturidade de um risco, considerando a composição geral desses elementos.

Em geral, a utilização do iRML híbrido constitui uma abordagem mais detalhada, comparativamente aos processos tradicionais de comunicação de risco que utilizam matriz de risco (probabilidade e consequências). Entretanto, a comunicação desses elementos requer uma noção mínima sobre os conceitos subjacentes e conhecer o significado de cada resposta, para permitir ao leitor uma correta leitura e utilização dos resultados. Dependendo do tipo de comunicação e contexto de apresentação do iRML, maior detalhamento pode ser provido com as respostas individuais de cada atributo do modelo construído.

Tabela 8.20 - Formas de integração e expressão dos elementos do iRML híbrido.

Elemento	Integração	Forma de expressão
Índice principal	<p>RKM</p> <p>Os valores de maturidade de cada atributo ($AMS_{1,j,k}$) são definidos a partir do julgamento das alternativas de seleção e são agregados de acordo com os pesos atribuídos, formando uma medida singular de maturidade do conhecimento.</p>	<p>As medidas são combinadas de acordo com o modelo desenvolvido (considerando os pesos de importância), gerando um indicador numérico, normalizado na escala de [0, 5].</p> <p>O valor numérico do índice principal do iRML híbrido é comunicado através de um gráfico, conforme exemplo abaixo:</p> 
	<p>TM&MCM</p> <p>Os níveis de TRL, R&D³ e CML são combinados de acordo com o modelo lógico criado, resultando em uma medida singular de maturidade tecnológica e do conceito da missão (normalização min-max). $TM\&MCM: \Leftrightarrow (TRL/R\&D^3) \times CML$</p>	
	<p>ROM</p> <p>O nível de maturidade do CoPS-RM-CMM é diretamente utilizado, formando uma medida singular de maturidade da organização ao risco (normalização min-max).</p>	
RP&RB	<p>A percepção do risco é representada através da indicação da possibilidade de existência dos vieses. O índice IPE_{vies} é determinado individualmente para cada viés investigado. Portanto, resulta em quatro índices numéricos.</p>	<p>Os índices IPE_{vies} são comunicados utilizando um gráfico em barras para cada viés, conforme exemplo abaixo:</p> 
	<p>O comportamento ao risco utiliza uma escala <i>likert</i> com 10 níveis de propensão autodeclarado que diretamente reflete em um ponto na escala de comportamentos.</p>	<p>O comportamento ao risco é comunicado através de um gráfico com ponteiro sobre um eixo, conforme exemplo abaixo:</p> 

Obs. Os resultados numéricos em cada etapa de formação dos índices são normalizados, gerando uma referência singular para agregação, assim evitando a problemática de agregação de escalas distintas, conforme apontado por (CHOO; WEDLEY, 2008).

Fonte: Produção do autor.

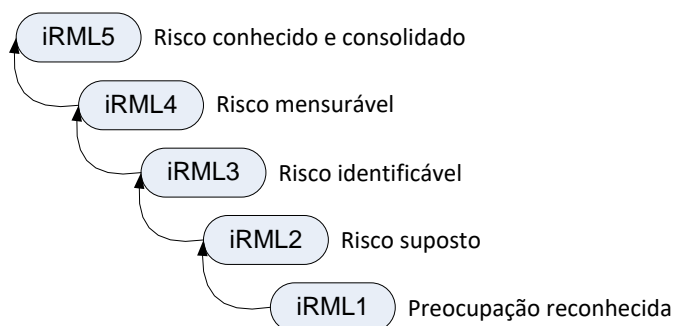
8.2 Abordagens descritivas do iRML

A abordagem descritiva é desenvolvida com o propósito de padronizar a maturidade de riscos e criar uma referência (*benchmark*) que seja aplicável no contexto do método apresentado neste trabalho.

Dois modelos foram desenvolvidos para este propósito. O primeiro, denominado *modelo da maturidade de riscos em escala*, inspirado em modelos já existentes como o TRL, IRL, SRL (SAUSER et al., 2010), consiste em cinco níveis de maturidade utilizando o iRML de forma integrada, onde o iRML 5, denominado de risco conhecido e consolidado, é considerado o nível mais alto e o iRML 1, denominado de preocupação reconhecida, é o nível mais baixo. Observa-se que o iRML aqui referenciado está de acordo com a definição genérica (estabelecida na Seção 7.2), enquanto o seu relacionamento com o iRML híbrido é investigado no estudo de caso.

A Figura 8.12 apresenta o modelo em formato de escala ordinal e o sentido crescente de maturidade com os respectivos identificadores.

Figura 8.12 - Modelo da maturidade de riscos em escala (iRML integrado).



Fonte: Produção do autor.

O julgamento da maturidade de um risco através deste modelo (iRML integrado) utiliza uma descrição geral (Tabela 8.21), que caracteriza os aspectos de maturidade integrados ao conceito iRM. O julgamento se dá de forma qualitativa, comparando as características do risco sob análise e a descrição dos critérios de cada nível de maturidade.

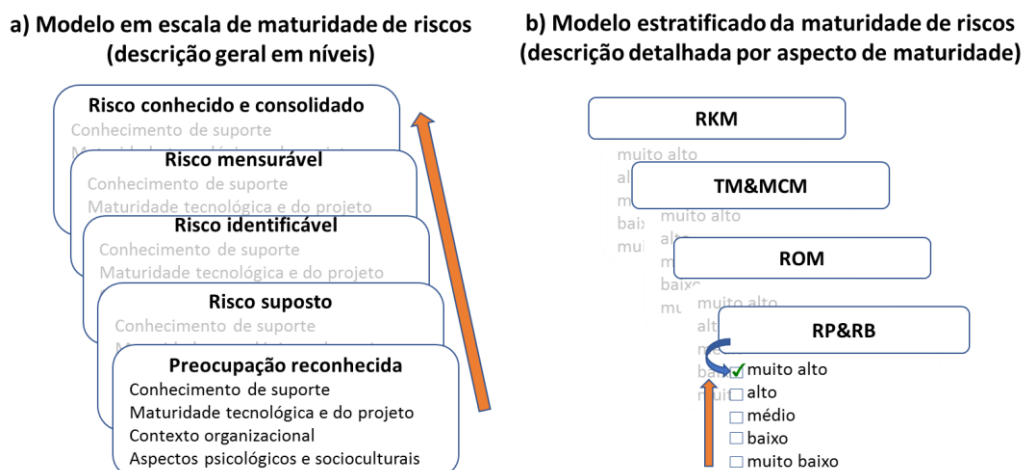
No enquadramento do RKM aos cinco níveis de maturidade do iRML escala, foram selecionados alguns atributos específicos que melhor representam cada

classe de atributos. As características de cada atributo têm ao menos três níveis qualitativos distintos (e.g., níveis de exploração do assunto: exaustivamente, parcial e pouca) que podem ser replicados em diferentes níveis de iRML.

O segundo modelo, denominado de *modelo estratificado da maturidade de riscos*, consiste na determinação individual de um nível de maturidade para cada elemento do iRM, de forma independente. Os cinco níveis possíveis de classificação estão entre muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo, caracterizados pela descrição apresentada na Tabela 8.22. Neste modelo, o resultado de julgamento é o conjunto de níveis de maturidade individualmente estabelecidos para cada elemento do iRM, sem a formação de um julgamento integrado para a maturidade de um risco.

A mudança de perspectiva (ilustrado na Figura 8.13) entre os dois modelos definidos, permite descrições mais detalhadas no modelo estratificado (i.e., por aspecto de maturidade do iRM), ou seja, espera-se que os resultados de julgamento desse segundo modelo gerem resultados mais próximos da realidade para cada aspecto de maturidade, entretanto, existe a possibilidade de se tornar um método que consome mais tempo para aplicação.

Figura 8.13 – Comparação entre os dois modelos descritivos do iRML.



Fonte: Produção do autor.

Os relacionamentos entre os dois modelos e a aderência com os julgamentos da abordagem híbrida são investigados no estudo de caso, apresentado no Capítulo 9.

Tabela 8.21 – Definições do *modelo da maturidade de riscos em escala* (escala iRML).

Nível de maturidade (iRML)	Risco conhecido e consolidado (iRML 5)	Risco mensurável (iRML 4)	Risco identificável (iRML 3)	Risco suposto (iRML 2)	Preocupação reconhecida (iRML 1)
Definição Geral iRML	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O risco é fundamentado em vasto e bem estabelecidos: dados e informações, premissas, conhecimento e experiência do especialista, além de julgamento bastante seguro e concordância de outros especialistas. ▪ A tecnologia relacionada ao risco tem comprovação em voo e muito baixa dificuldade de realização, enquanto o projeto conceitual é bastante maduro. ▪ Os processos de gerenciamento de risco são maduros, continuamente monitorados, revisados e otimizados. A cultura de risco é bem difundida, as estratégias partem do mais alto nível de governança e há o envolvimento proativo e colaborativo de todas as partes interessadas (internas e externas). ▪ Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são plenamente conhecidos. A possibilidade de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são identificados, analisados e informados ao usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O risco é fundamentado em suficiente e reconhecidos: dados e informações, premissas, conhecimento e pequena experiência do especialista, além de julgamento seguro e ausência de divergência de outros especialistas. ▪ A tecnologia relacionada ao risco é qualificada ou tem demonstração em ambiente espacial e há pequena ou moderada dificuldade de realização, enquanto o projeto conceitual tem boa maturidade. ▪ Os processos de gerenciamento de risco são consistentes, sistemáticos (organizacionais). A cultura de risco é conhecida e há o envolvimento por compartilhamento entre as partes interessadas, mas não são homogêneos em toda a organização. ▪ Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são conhecidos. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são identificados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O risco é fundamentado em: poucos e relevantes dados e informações, premissas de base teórica, conhecimento geral e experiência singular do especialista, além de julgamento seguro e poucas discordâncias de outros especialistas. ▪ A tecnologia relacionada ao risco tem demonstração ou validação em ambiente relevante e moderado ou alta dificuldade de realização, enquanto o estudo conceitual explorou o espaço de alternativas de soluções candidatas (arquiteturas). ▪ Os processos de gerenciamento de risco são compartilhados entre alguns grupos. A cultura organizacional de risco está em desenvolvimento e há um envolvimento local e proativo das partes interessadas no gerenciamento de riscos. ▪ Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são parcialmente conhecidos. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são parcialmente identificados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O risco é fundamentado em dados e informações únicos com incerteza de: relevância, premissas de base teórica singular, conhecimento geral e sem experiência do especialista, além de julgamento incerto e não concordância de outros especialistas. ▪ A tecnologia relacionada ao risco tem validação em laboratório ou funcionalidades experimentalmente demonstradas e muito alta dificuldade de realização, enquanto o estudo conceitual analisou a viabilidade preliminar da missão e estabeleceu os requisitos. ▪ Os processos de gerenciamento de riscos são locais e individuais. Não há uma cultura de risco estabelecida, apesar do reconhecimento dos seus benefícios e o envolvimento das partes interessadas é limitado. ▪ Não é possível afirmar a existência de conhecimento (incipiente) ou há negligência sobre os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco não são identificadas e avaliadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O risco é fundamentado em: informação única com grande incerteza de relevância, premissas são “<i>best guess</i>”, especialista com formação acadêmica em área relacionada e sem experiência, além de julgamento não seguro e fortes divergências de outros especialistas. ▪ A tecnologia relacionada ao risco é conceitual ou tem os princípios básicos observados e o grau de dificuldade de realização é extremo, enquanto o estudo explorou as necessidades de stakeholders e objetivos da missão. ▪ Não existem processos de gerenciamento de riscos, noção sobre cultura de risco, entendimento dos princípios e processos de gerenciamento de riscos, além de existir comportamento reativo aos eventos de risco (“apagar incêndio”). ▪ Não há conhecimento dos conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco. Não há qualquer consciência sobre a possibilidade de existência de vieses, o comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco.

Fonte: Produção do autor.

Tabela 8.22 - Definições do *modelo estratificado da maturidade de riscos* (por aspecto de maturidade).

Elemento do iRML	muito alto	alto	médio	baixo	muito baixo
RKM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco fundamentado em informações e dados abundantes, confiáveis e relevantes, oriundos de experiência de campo e teórico-experimental. ▪ O julgamento do risco é bastante seguro e há forte concordância entre os especialistas. ▪ As premissas assumidas têm forte base referencial e incertezas conhecidas. ▪ Há conhecimento específico com grande experiência, além de exaustiva exploração do assunto relacionado ao risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco fundamentado em informações e dados suficientes, confiáveis e relevantes, oriundos de experiência teórico-experimental. ▪ O julgamento do risco é seguro e não há opinião divergente entre os especialistas. ▪ As premissas assumidas têm pequena base referencial e incertezas moderadas. ▪ Há conhecimento específico com pequena experiência, além de parcial exploração do assunto relacionado ao risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco fundamentado em poucas informações e dados relevantes, oriundos de experiência teórico-experimental. ▪ O julgamento do risco é seguro e não há concordância unânime entre os especialistas. ▪ As premissas assumidas têm pequena base referencial teórica e algumas simplificações. ▪ Há conhecimento geral com experiência singular, além de parcial exploração do assunto relacionado ao risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco fundamentado em informações e dados singulares, confiáveis, mas com incerteza de relevância, oriundos de experiência teórica. ▪ O julgamento do risco possui incertezas relevantes e não há concordância entre os especialistas. ▪ As premissas assumidas têm como base referencial teórico singular e simplificações moderadas. ▪ Há conhecimento geral sem experiência, além de pouca exploração do assunto relacionado ao risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risco fundamentado em informação singular, com grande incerteza de relevância e sem comprovação de experiência. ▪ O julgamento do risco não é considerado seguro e existem fortes opiniões divergentes entre os especialistas. ▪ As premissas assumidas têm como base "<i>best guess</i>" e fortes simplificações. ▪ Há formação geral sem experiência, além de pouca exploração do assunto relacionado ao risco.
TM&MCM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tecnologia relacionada ao risco tem comprovação em voo do sistema real [TRL9] e o grau de dificuldade de P&D para a sua infusão no projeto é muito baixo [R&D³=1]. O conceito de missão apresenta ao menos uma alternativa de solução com características funcionais, de forma e de desempenho (balanços) em nível de subsistemas viável, respeitando margens e fatores de segurança [CML 4]. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tecnologia relacionada ao risco é qualificada para voo com o sistema real ou demonstrada em ambiente espacial em protótipo [TRL7 - TRL8] e o grau de dificuldade de P&D para a sua infusão no projeto é pequeno ou moderado [R&D³=1 ou R&D³=2]. O conceito de missão apresenta uma alternativa de solução com características funcionais, de desempenho (balanços) e forma de subsistemas com viabilidade limitada (margens e fatores de segurança ameaçados) [CML 4]. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tecnologia relacionada ao risco é demonstrada ou validada em ambiente relevante via protótipo ou modelo de validação [TRL5 - TRL6] e o grau de dificuldade de P&D para a sua infusão no projeto é moderado ou alto [R&D³=2 ou R&D³=3]. O espaço de soluções de objetivos científicos e possíveis arquiteturas foi explorado e trades de arquitetura mostram os impactos e relacionamentos entre retorno científico, custos e riscos de diferentes soluções alternativas [CML 3]. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tecnologia relacionada ao risco é validada em ambiente de laboratório ou tem as características funcionais demonstradas experimentalmente [TRL3 - TRL4] e o grau de dificuldade de P&D para a sua infusão no projeto é muito alto [R&D³=4]. A viabilidade científica, técnica e programática é explorada, os objetivos e requisitos são especificados, parâmetros chaves de desempenho são quantificados e cálculos preliminares são realizados demonstrando a viabilidade de construção de conceito(s) [CML 2]. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A tecnologia relacionada ao risco é conceitual ou tem os princípios básicos observados [TRL1 - TRL2] e o grau de dificuldade de P&D para a sua infusão no projeto é extremo com necessidade de inovações conceituais [R&D³=5]. As perguntas científicas foram articuladas, as observações científicas necessárias foram propostas, um draft do conceito de missão e objetivos de alto nível são definidos [CML 1].

continua

Tabela 8.22 – Conclusão.

<p>ROM (CoPs- RM- CMM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Colaboração e multi-aprendizado de RM intraorganizacional e inter-projetos; ▪ Envolvimento de partes afetadas & stakeholders internos no processo de RM; ▪ Planejamento estratégico de riscos do negócio; ▪ Desenvolvimento de alianças estratégicas, arranjos organizacionais e parcerias com stakeholders externos; ▪ Habilidade para gerenciar riscos conhecidos e riscos emergentes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nomeação de um gerente de risco formal ou informal; ▪ Compartilhamento de riscos com outras partes; ▪ Arranjos institucionais: construção de coalisão, contratuais, arranjos legais; ▪ Capacidade de RM em rede ou alavancado & capacidade de inovação em rede; ▪ Foco maior em lidar com engenharia <i>front-end</i> & planejamento; ▪ Alta preocupação com riscos; ▪ Capaz de gerenciar com quase todos os riscos previsíveis e gerenciar alguns riscos emergentes; ▪ Processos de RM institucionalizados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Processos de RM integrados definidos; ▪ Suporte gerencial para um sistema formal de RM; ▪ Retorno sobre o investimento em treinamento de RM; ▪ Comportamento proativo para riscos e ameaças; ▪ Lições aprendidas de projetos passados; ▪ Gerenciamento efetivo de riscos conhecidos / previsíveis; ▪ Principalmente visão interna nos níveis funcionais e de projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reconhecimento dos benefícios do RM; ▪ Suporte organizacional em nível de projeto; ▪ Algum reconhecimento inicial da necessidade de processos e metodologias de RM; ▪ Algum treinamento em RM; ▪ Experimentação em alguns aspectos de processos e aplicação de ferramentas de RM. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nenhum entendimento dos princípios e linguagem de RM; ▪ RM de forma comentada; ▪ Praticamente nenhum suporte de nível executivo; ▪ Pequenos grupos de interesse; ▪ Nenhum esforço em reconhecer os benefícios do RM; ▪ Nenhum investimento em treinamento e educação em RM; ▪ Comportamento reativa aos eventos de risco, acostumado a "apagar incêndio".
<p>RP&RB</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os conceitos e elementos de influência dos aspectos de psicologia de risco são plenamente conhecidos, assim como suas expressões (medidas) e os potenciais impactos para a análise do risco e utilização dos seus resultados. ▪ A possibilidade de existência de vieses na análise do risco é muito remota ou sua existência não compromete, garantidamente, o projeto ou decisões futuras. ▪ O comportamento ao risco do avaliador do risco é conhecido claramente e seus impactos para análise do risco são plenamente entendidos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os conceitos de psicologia de risco são conhecidos, assim como suas expressões (medidas) e há ciência dos potenciais impactos para a análise do risco e utilização dos seus resultados. ▪ A possibilidade de existência de vieses na análise do risco é pequena ou sua existência tem grande probabilidade de não comprometer o projeto ou decisões futuras. ▪ O comportamento ao risco do avaliador do risco é conhecido e há ciência dos seus impactos para análise do risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Os conceitos de psicologia de risco são parcialmente conhecidos, assim como suas expressões (medidas) e dos potenciais impactos para a análise do risco e utilização dos seus resultados. ▪ A possibilidade de existência de vieses na análise do risco é moderada ou a sua existência pode comprometer o projeto ou decisões futuras. ▪ O comportamento ao risco do avaliador do risco é parcialmente conhecido (moderada incerteza) e há pontualmente ciência dos seus impactos para análise do risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não é possível afirmar o conhecimento dos conceitos de psicologia de risco, a expressão (medida) dos seus elementos tem grande incerteza e seus impactos para a análise e utilização dos seus resultados não são avaliados. ▪ A possibilidade de existência de vieses na análise do risco é grande ou a sua existência pode comprometer de forma importante o projeto ou decisões futuras. ▪ O comportamento ao risco do avaliador do risco tem grande incerteza e não há indicação de conhecimento dos seus impactos para análise do risco. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não há conhecimento dos conceitos de psicologia de risco, a expressão (medida) dos seus elementos não é confiável e os potenciais impactos para a análise e sua utilização são desconhecidos. ▪ A possibilidade de existência de vieses na análise do risco é muito grande ou a sua existência pode comprometer de forma catastrófica o projeto ou decisões futuras. ▪ O comportamento ao risco do avaliador do risco é desconhecido ou não confiável e não há conhecimento dos seus potenciais impactos para a análise do risco.

Fonte: Produção do autor.

9 ESTUDO DE CASO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO IRML

Este capítulo apresenta a aplicação do método de avaliação de maturidade de riscos em um estudo de caso derivado do ambiente de engenharia simultânea CPRIME para a avaliação de utilidade, eficácia, consistência e viabilidade de utilização do conceito iRM e suas formas de expressão iRML.

As Informações sobre o CPRIME necessárias para contextualização do estudo de caso realizado são apresentadas na Seção 6.5. O método do estudo de caso é apresentado na Seção 9.1, assim como os resultados obtidos, análises e discussões.

9.1 Aplicação do método de avaliação de maturidade de riscos em estudo de caso

A verificação empírica do método de avaliação de maturidade de riscos consiste na aplicação do conceito iRM e suas formas de expressão iRML utilizando os resultados de um estudo conceitual de missão espacial realizado no CPRIME. O estudo conceitual utilizado neste estudo de caso representa um típico estudo realizado no centro e tem como objetivo a construção de um conceito de sistema e análise de viabilidade de soluções candidatas para atendimento de sua missão.

Os dados e informações sobre o estudo utilizado são descaracterizados devido o conteúdo das informações geradas através da avaliação do iRML, que podem conter informações sensíveis de direito pessoal (Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais – LGPD (BRASIL, 2018)). Portanto, o estudo originário das informações aqui utilizadas é denominado Estudo Conceitual.

A análise de risco realizada no Estudo Conceitual utiliza a abordagem configurável, denominada de “abordagem corrente” (ver Apêndice M), onde, em uma versão simplificada, os seguintes aspectos foram definidos:

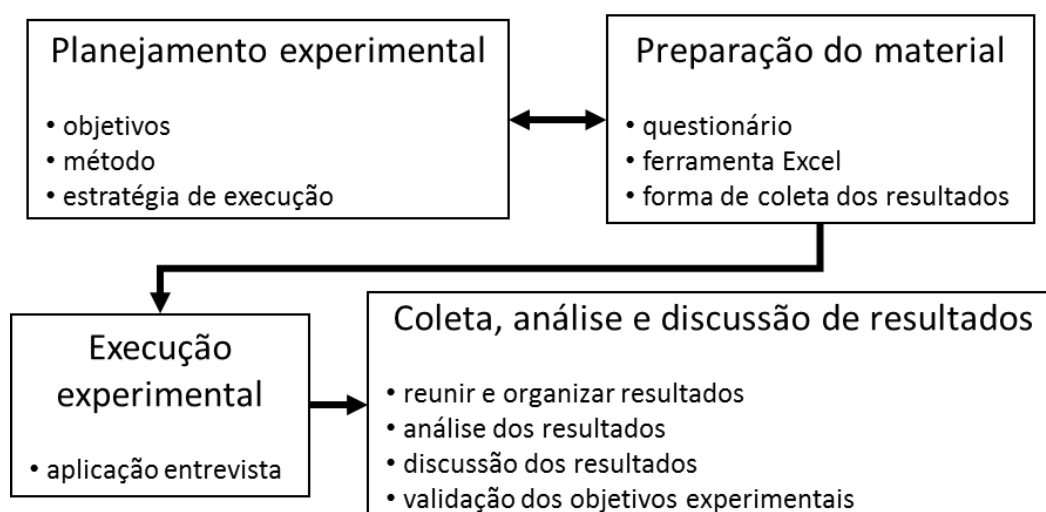
- a) os critérios de sucesso são definidos como o atendimento dos requisitos do sistema;
- b) a política de aceitação de riscos (áreas delimitadas da matriz de risco) segue o padrão de referência adotado no centro;

- c) a categorização de probabilidade de ocorrência e impacto são avaliadas subjetivamente em três níveis (alto, médio e baixo) de acordo com a percepção do avaliador do risco;
- d) duas classes de risco são adotadas: risco técnico: potencial cenário que impacta os aspectos de desempenho do sistema durante a operação; e risco programático: potencial cenário que impacta os aspectos programáticos de desenvolvimento.

Nessa abordagem, os riscos relacionados às disciplinas específicas são identificados e avaliados pelos respectivos especialistas, enquanto a disciplina risco identifica os riscos da missão (alto nível) em conjunto com a disciplina *programmatics* e *systems*, além de coordenar o fluxo de informações e a consolidação final de todos os riscos identificados ao longo da realização do Estudo Conceitual.

A análise de risco do Estudo Conceitual resultou em 14 riscos finais compilados em um relatório final do estudo, que são utilizados nesse estudo de caso. A representação do processo utilizado para a realização desse estudo de caso é apresentada na Figura 9.1. A descrição das etapas é realizada nas subseções seguintes.

Figura 9.1 - Processo de desenvolvimento experimental do estudo de caso para aplicação do iRM e avaliação do iRML.



Fonte: Produção do autor.

9.1.1 Planejamento experimental

A estratégia de aplicação do método desenvolvido neste trabalho, ou seja, a avaliação do iRML dos riscos resultantes do Estudo Conceitual utilizou entrevistas individuais com os integrantes do time de projeto, participantes do Estudo Conceitual, responsáveis pelas disciplinas vinculadas aos riscos, como próprios avaliadores dos riscos, somando em um total de oito entrevistados (identificados com a notação E1 – E8). Adicionalmente, um questionário é aplicado para coletar as impressões dos entrevistados em quatro aspectos: utilidade, eficácia, consistência e comparação entre as diferentes abordagens de iRML.

As entrevistas consistem na apresentação introdutória dos conceitos e elementos do iRM e iRML e na utilização prática do iRML, conduzido por um documento de guia da entrevista (Apêndice N). A avaliação do iRML é realizada através das duas abordagens de iRML: abordagem descritiva (em escala e estratificada) (Seção 8.2), e abordagem híbrida (Seção 8.1.5), nesta última, com o auxílio de uma ferramenta desenvolvida em ambiente Excel que automatiza as operações, coleta as informações dos usuários e apresenta os resultados nas formas gráficas, conforme apresentado na Tabela 8.20.

O planejamento experimental com o estudo de caso tem os seguintes objetivos:

- a) (O1) Verificar a utilidade do iRML para informar o nível de maturidade de um risco;
- b) (O2) Verificar a eficácia do iRML como representação da maturidade de um risco;
- c) (O3) Verificar a consistência do iRML quanto sua formação, compatibilidade entre abordagens híbrida e descritiva (escala e estratificada), e validade quanto à expectativa (percepção) do entrevistado;
- d) (O4) Verificar características comparativas de utilização das abordagens híbrida e descritiva (escala e estratificada), incluindo impressões sobre a ferramenta de análise disponibilizada;

- e) (O5) Analisar a consistência de avaliações do iRML realizadas por diferentes indivíduos para o mesmo risco;
- f) (O6) Identificar a importância relativa entre os elementos do iRML;
- g) (O7) Observar os resultados de $IPE_{viés}$ e dinâmica de autodeclaração de comportamento ao risco.

9.1.2 Preparação do material

O guia para condução da entrevista (Apêndice N) possui três partes principais. A primeira é uma apresentação geral do iRM, iRML e seus elementos de uma forma didática, simplificada e sem detalhar o arcabouço conceitual que suporta o método em aplicação.

A segunda parte consiste nas instruções e disponibilização do modelo de coleta das avaliações relacionadas ao iRML descritivo (tabela editável). A tabela de coleta dos julgamentos das abordagens de iRML descritivas utiliza uma estratégia integrada dos modelos escala e estratificado. Essa estratégia é utilizada para verificar a consistência de julgamento entre os diferentes elementos do iRM (objetivo O3), ou seja, investigar se os julgamentos entre elementos têm convergência ou divergência e como se dá esta relação. Nesse formato de coleta dos julgamentos também é possível identificar qual é o peso relativo (entre os elementos do iRML – objetivo O6) utilizado pelo entrevistado para o julgamento do iRML geral de um risco.

A segunda parte do guia da entrevista também inclui o guia para avaliação do iRML híbrido, como uma forma alternativa de avaliação do iRML. Uma introdução contextualiza a forma de obtenção do iRML híbrido, apresentando como se dá a formação, relacionamentos com o contexto e a forma representativa (gráfica) resultante da avaliação. Na sequência, um guia (passo-a-passo) para a utilização da ferramenta (planilha Excel – ver Seção 9.1.2.1) e as instruções para a avaliação do iRML híbrido são providas. Ao final das orientações, uma tabela de coleta do índice principal do iRML híbrido é disponibilizada para facilitar a comparação entre as duas abordagens.

Algumas restrições são estabelecidas para a avaliação do iRML híbrido, conforme descritas abaixo:

- a) O nível do ROM (nível de maturidade obtido pelo modelo CoPS-RM-CMM, Tabela 8.17 na Seção 8.1.4) é especificado em nível 3 para todos os riscos, conforme julgamento do autor. Essa restrição está alinhada com a proposta de processo para utilização do método iRM no CPRIME (Apêndice M), onde os atores responsáveis pelo julgamento desse atributo são os integrantes da disciplina risco, *programmatics* e *systems*. Ou seja, a avaliação do ROML não está sob o poder de decisão do avaliador do risco, dado a necessidade de uma visão organizacional para este julgamento; e
- b) A configuração dos pesos dos atributos é pré-estabelecida utilizando o método DIRECT (Nível 1: $w_1 = 0,5$; $w_2 = 0,25$ e $w_3 = 0,25$ / Nível 2: *Equal Weight*). Essa estratégia simula a aplicação real em um estudo, onde o(s) stakeholder(s) deve(m) estabelecer esses critérios na fase de preparação do processo CPRIME. Assim, estabelecidos os pesos dos atributos é possível uma comparação direta do índice principal do iRML híbrido entre os riscos.

A terceira parte do guia consiste no questionário de dez questões (Q1 – Q10) que coletam as impressões gerais dos entrevistados para análise dos objetivos (O1 – O4 e O6). A maioria das questões utilizam o método *likert* (em cinco níveis) ou respostas binárias e permitem a livre descrição de comentários.

9.1.2.1 Ferramenta automatizada para avaliação do iRML híbrido

Uma ferramenta em ambiente Excel foi desenvolvida nesse trabalho e é utilizada para auxiliar no uso do iRML híbrido. Essa inclui o processo e instruções de utilização, campos de coleta de informações, rotinas de cálculos de agregação (índice principal do iRML híbrido e $IPE_{viés}$) e as formas gráficas resultantes de forma padronizada e possível de compartilhamento para edição compartilhada.

A configuração do iRML híbrido (ver Figura 9.2) é disponibilizada em uma aba independente com acesso restrito e inclui a flexibilidade de atribuição de métodos de identificação e os pesos em si para os níveis 1 e 2 do modelo hierárquico adotado. Instruções sobre os dois métodos de determinação de pesos (SMART e DIRECT) são providas na forma de anotações (i.e., notas explicativas).

Figura 9.2 - imagem da planilha para configuração do iRML híbrido.

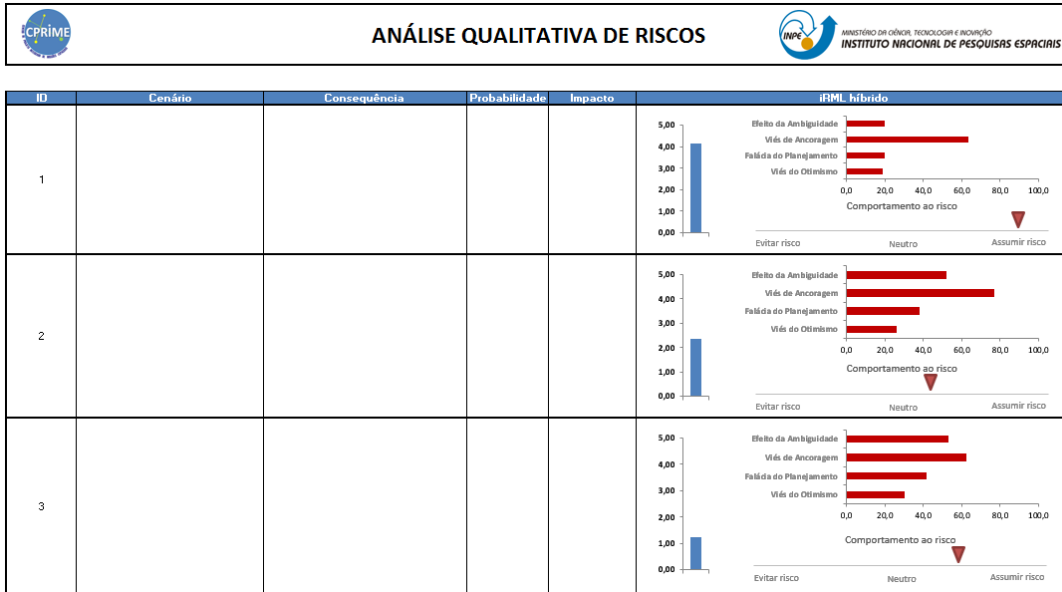
SELECIONAR UM MÉTODO DE ATRIBUIÇÃO DE PESOS DOS ATRIBUTOS			
Obs. Apenas uma alternativa deve ser escolhida por nível, utilizando a letra X (maiúsculo) .			
Nível 1	DIRECT	<input checked="" type="checkbox"/>	
	SMARTER	<input type="checkbox"/>	
Nível 2	DIRECT	<input checked="" type="checkbox"/>	
	SMARTER	<input type="checkbox"/>	

100	1. Maturidade de Conhecimento do Risco (RKM)
100	1.1 Maturidade e disponibilidade de dados e informações Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.
100	1.2 Maturidade de julgamento Maturidade do julgamento ou avaliação realizada do risco (etapa específica do processo de medir ou descrever o risco)
100	1.3 Maturidade de premissas Premissas utilizadas que dão suporte a análise do risco.
100	1.4 Maturidade do conhecimento e entendimento do assunto do risco Grau de conhecimento e compreensão do fenômeno envolvido no risco em análise.
50	2. Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão (TM&MCM)
50	3. Maturidade da Organização ao Risco (ROM)

Fonte: Produção do autor.

A coleta de informações para a formação do iRML híbrido e a exibição gráfica resultante (ver Figura 9.3) foram integrados ao modelo de análise qualitativa da disciplina risco do CPRIME, incluindo uma nova coluna, denominada iRML híbrido, e o formulário padrão de coleta das informações (ver Figura 9.4) necessárias na formação do iRML híbrido nas linhas imediatamente inferiores ao ID do respectivo risco. Para facilidade de manuseio, as linhas foram agrupadas para cada risco e podem ser expandidas e contraídas durante a utilização. As informações coletadas consistem no julgamento das alternativas de seleção do RKM, propensão ao risco, componentes do TM&MCM e ROM que acompanham os respectivos guias para avaliação (e.g., TRL, R&D³ e CoPS-RM-CMM). Uma exibição mais detalhada sobre os resultados do iRML híbrido também é disponibilizada (ver Figura 9.5) e pode ser visualizada quando as linhas do formulário de coleta de dados estão em modo expandido. Essa visualização permite um entendimento mais detalhado dos resultados para os elementos do iRM e RKM, $IP_{E_{viés}}$ e componentes do índice principal do iRML híbrido.

Figura 9.3 - imagem da planilha de análise qualitativa de riscos do CPRIME incluindo a exibição gráfica iRML híbrido.



Fonte: Produção do autor.

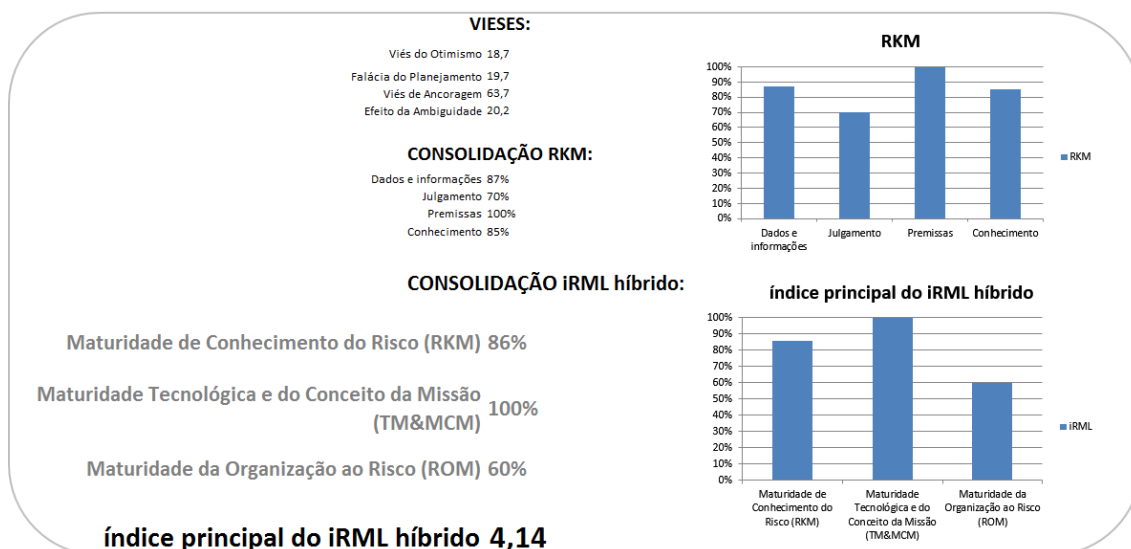
Figura 9.4 - imagem da planilha para coleta das informações para a formação do iRML híbrido.

Marcar a alternativa correspondente a cada atributo de avaliação.
Obs. Apenas uma alternativa deve ser escolhida por atributo, utilizar **letra X (malisculo)**.

<p>1.1. Relevância (aplicabilidade) Relevância dos dados e informações no sentido de adequação ao propósito desejado e atualidade temporal.</p> <p>Objeto objeto do risco (ex. produto, função, tecnologia) Contexto: ambiente e atributos dos elementos (ex. pressão, temperatura, condições de operação) Temporal (omnibus): validade de atualidade (ex. validade de método de obtenção ou medida, conhecimento atual)</p>	<input type="checkbox"/>	Mesmas características do objeto e contexto com validade temporal.
	<input type="checkbox"/>	Características semelhantes do objeto e contexto com validade temporal.
	<input type="checkbox"/>	Poucas características semelhantes do objeto ou contexto com desconhecida validade temporal.
	<input type="checkbox"/>	
<p>1.1.2. Fundamentos Origem de formação dos dados e informações.</p> <p>Origem teórico-experimental: derivados de ac adêmico, simulação, experimento em laboratório. Origem de campo / ambiente operacional real: herança em voo, projetos finalizados ou lições aprendidas.</p>	<input type="checkbox"/>	Dados de campo (ambiente operacional real) e suporte teórico-experimental
	<input type="checkbox"/>	Somente teórico-experimental
	<input type="checkbox"/>	Desconhecido
<p>1.1.3. Disponibilidade e facilidade de acesso Disponibilidade e facilidade de acesso (por busca ou obtenção) de dados e informações.</p> <p>Disponibilização está relacionada ao número de fontes e amplitude de divulgação. Acessibilidade está relacionada ao grau de dificuldade ao acesso por obtenção (simulação, modelos) ou busca (fontes, base de pesquisa).</p>	<input type="checkbox"/>	Amplamente disponibilizado ou facilmente acessível
	<input type="checkbox"/>	Pouco disponibilizado ou acesso sob demanda
	<input type="checkbox"/>	Acesso restrito
<p>1.1.4. Quantidade Quantidade de dados e informações (relacionado ao fator temporal, volume de dados e número de diferentes fontes).</p> <p>Fator temporal: relativo ao período de abrangência dos dados (ex. dados coletados durante 10 anos de operação). Volume de dados: quantidade total, somando os conjuntos unitários de dados (medidas amostrais). Quantidade de fontes: relacionado a diferentes origens ou contextos (ex. diferentes projetos, diferentes fornecedores, diferentes organizações).</p>	<input type="checkbox"/>	Preferente a longo período e/ou grande volume e/ou múltiplas fontes de dados e informações (incluindo externos à organização)
	<input type="checkbox"/>	Preferente a pequeno período e/ou pequeno volume e/ou poucas fontes de dados e informações (não necessariamente externos à organização)
	<input type="checkbox"/>	Dados e informações singulares (único) e/ou pertencentes a uma única fonte

Fonte: Produção do autor.

Figura 9.5 - imagem da planilha para exibição detalhada dos componentes do iRML híbrido.



Fonte: Produção do autor.

9.1.3 Execução experimental

A execução das entrevistas utilizou reuniões com os entrevistados para apresentar os conceitos básicos, instruções da entrevista e do material disponibilizado (relatório final do Estudo Conceitual, guia de entrevista e a ferramenta automatizada para avaliação do iRML híbrido). Para auxiliar o processo de avaliação, um exemplo de avaliação do iRML utilizando as diferentes abordagens foi conduzida para guiar os entrevistados nesse primeiro contato com o método. Posteriormente, os entrevistados realizaram as avaliações para os riscos aplicáveis (i.e., sob sua responsabilidade quando o Estudo Conceitual foi realizado) e retornaram o documento preenchido.

9.1.4 Coleta dos resultados

Os resultados gerais obtidos no estudo de caso são apresentados na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 – Resultados gerais obtidos do estudo de caso.

ID do risco	Classificação	Avaliação do Risco		ID especialista	iRML						
		probabilidade	consequência		iRML escala	índice principal do iRML híbrido ¹	Comportamento ao risco	EPI _{viés A}	EPI _{viés B}	EPI _{viés C}	EPI _{viés D}
ID 1	Programático	Baixa	Alta	E3	4	4,31	8	23,5%	16,1%	47,3%	0%
ID 2	Técnico	Média	Alta	E3	3	3,14	8	23,9%	33,7%	46,2%	26,9%
ID 3	Técnico	Baixa	Alta	E1	4	3,38	4	30,1%	27,7%	57,5%	6,7%
				E2	4	3,63	3	49%	63,1%	61%	18,7%
ID 4	Programático	Baixa	Média	E1	2	1,87	4	49,3%	53,4%	49,3%	85,1%
				E2	4	3,66	3	49%	59,4%	42,5%	16,4%
ID 5	Técnico	Baixa	Média	E6	5	4,22	6	44,1%	43,8%	44,2%	6,7%
ID 6	Programático	Baixa	Média	E5	4	3,47	6	44,4%	30,1%	65,4%	37,3%
				E6	3	2,63	6	54,8%	46,6%	74,3%	78,4%
ID 7	Programático	Média	Média	E8	4	4,5	8	26,1%	40,2%	41,1%	0%
ID 8	Técnico	Baixa	Alta	E1	4	3,55	4	46,6%	55,4%	47,3%	4,5%
				E2	5	3,68	3	47,4%	55,8%	54,8%	14,2%
ID 9	Programático	Baixa	Média	E1	3	2,54	4	32%	34,5%	65,1%	44,8%
				E2	3	3,17	3	61,4%	79,5%	67,1%	45,5%
ID 10	Técnico	Média	Baixa	E7	2	1,83	2	44,6%	45%	64,7%	44%
				E1	2	1,86	4	49%	51,4%	40,4%	69,4%
ID 11	Programático	Baixa	Média	E2	3	3,17	3	61,4%	79,5%	67,1%	45,5%
				E5	3	3,16	6	39,4%	41,4%	38,7%	55,2%
				E2	3	3,36	3	56,4%	71,1%	67,1%	32,1%
ID 12	Programático	Baixa	Média	E5	5	4,46	6	43,3%	52,2%	44,5%	7,5%
ID 13	Técnico	Baixa	Baixa	E4	5	4,5	2	52,2%	40,2%	41,1%	0%
ID 14	Técnico	Baixa	Alta	E4	2	3,24	2	69,9%	86,7%	33,2%	55,2%

Onde, viés A: viés do otimismo; viés B: falácia do planejamento; viés C: viés da ancoragem; viés D: efeito da ambiguidade.

Nota1: O iRML (híbrido) possui uma configuração padrão para a realização do estudo de caso, onde o RKM, TM&MCM e o ROM foram configurados com pesos: $w_1=0,5$; $w_2=0,25$ e $w_3=0,25$ respectivamente, na formação do índice principal do iRML (híbrido). O ROM foi fixado em CoPS-RM-CMM (3), 60% de maturidade, resultando em um índice principal do iRML (híbrido) máximo de 4,5.

Nota2: O comportamento ao risco utiliza a escala: evitar risco [1,3], neutro [4,6], assumir risco [7,9].

Nota3: O estudo de caso considerou sinais de alerta para existência de vieses a partir de valores de $EPI_{viés} > 75\%$.

Fonte: Produção do autor.

Os resultados coletados das avaliações do iRML para as abordagens descritiva em escala e híbrido são apresentados na Tabela 9.2. As respostas do questionário sobre as impressões dos entrevistados são sumarizadas separadamente. A Tabela 9.3 apresenta as respostas das questões 1 a 5 que utilizam a escala likert, enquanto a Tabela 9.4 apresenta as respostas das questões 6 a 10 relacionadas à comparação entre as abordagens do iRML investigadas. As respostas aos comentários e sugestões realizados pelos entrevistados são apresentadas no Apêndice O.

Tabela 9.2 - Resultados das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML descritiva em escala e híbrido para o estudo de caso.

Risco	iRML	E1	E2	E3*	E4	E5	E6	E7	E8
ID1	escala			4					
	híbrido			4,31					
ID2	escala			3					
	híbrido			3,14					
ID3	escala	4	4						
	híbrido	3,38	3,63						
ID4	escala	2	4						
	híbrido	1,87	3,66						
ID5	escala						5		
	híbrido						4,22		
ID6	escala					4	3		
	híbrido					3,47	2,63		
ID7	escala								4
	híbrido								4,5
ID8	escala	4	5						
	híbrido	3,55	3,68						
ID9	escala	3	3						
	híbrido	2,54	3,17						
ID10	escala							2	
	híbrido							1,83	
ID11	escala	2	3			3			
	híbrido	1,86	3,17			3,16			
ID12	escala		3			4			
	híbrido		3,36			4,46			
ID13	escala				5				
	híbrido				4,5				
ID14	escala				2				
	híbrido				3,24				

- Avaliação similar (diferença $\leq 0,5$ nível de iRML; ou até 10%)
- Pequena divergência (diferença $> 0,5$ e $\leq 1,0$ nível de iRML; ou entre 11 e 20%)
- Média divergência (diferença $> 1,0$ e $\leq 1,5$ nível de iRML; ou entre 21 e 30%)
- Grande divergência (diferença $> 1,5$ nível de iRML)

* é integrante da equipe de projeto demandante do estudo.

Obs: O iRML (híbrido) possui uma configuração padrão para a realização dos testes, onde o RKM, TM&MCM e o ROM foram configurados com pesos: $w_1=0,5$; $w_2=0,25$ e $w_3=0,25$ respectivamente, na formação do índice principal do iRML (híbrido).

Fonte: Produção do autor.

Tabela 9.3 - Respostas do questionário (Q1 – Q5) das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML para o estudo de caso.

ID especialista	Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
(Q1) O iRML é útil para informar o nível de maturidade (subjacente) de um risco.					
E1		X			
E2		X			
E3		X			
E4	X				
E5		X			
E6		X			
E7		X			
E8	X				
(Q2) O iRML, se utilizado como elemento informativo em tomadas de decisão, complementa o julgamento do risco (níveis de probabilidade e consequência).					
E1			X		
E2		X			
E3	X				
E4	X				
E5		X			
E6		X			
E7		X			
E8	X				
(Q3) O iRML representa, de fato, a maturidade de um risco.					
E1		X			
E2		X			
E3		X			
E4		X			
E5		X			
E6		X			
E7		X			
E8			X		
(Q4) Os componentes avaliados no iRML e o resultado obtido fazem sentido.					
E1		X			
E2		X			
E3	X				
E4		X			
E5		X			
E6		X			
E7	X				
E8	X				
(Q5) Existem diferentes níveis de importância (pesos) para a maturidade de um risco quanto aos elementos ou atributos do iRML. Quais elementos ou atributos do iRML são menos relevantes?					
E1		X			
E2	X				
E3	Não Respondeu*				
E4	X				
E5	Não Respondeu*				
E6		X			
E7	X				
E8		X			

* Entrevistados ficaram em dúvida sobre como responder à questão utilizando a forma apresentada.

Fonte: Produção do autor.

Tabela 9.4 - Respostas do questionário (Q6 – Q10) das entrevistas de avaliação das abordagens de iRML para o estudo de caso.

Questão	ID	Resposta		
(Q6) Qual alternativa é mais adequada para avaliação de maturidade do risco (1) ou (2)?	E1	(2)		
	E2	(2)		
	E3	(1)		
	E4	(1) e (2)		
	E5	(2)		
	E6	(1)		
	E7	(1)		
	E8	Sem resposta		
(Q7) Em comparação entre as duas formas de avaliação do iRML (1) e (2), o detalhamento das componentes (iRML híbrido) ajuda na avaliação?	E1	SIM		
	E2	SIM		
	E3	SIM		
	E4	SIM		
	E5	SIM		
	E6	SIM		
	E7	SIM		
	E8	SIM		
(Q8) O nível de iRML julgado na avaliação direta (1) seria alterado, dado a posterior avaliação dos componentes individuais do iRML (2)?	E1	NÃO		
	E2	SIM		
	E3	NÃO		
	E4	NÃO		
	E5	* Possivelmente sim		
	E6	NÃO		
	E7	NÃO		
	E8	NÃO		
(Q9) Qual abordagem tem maior facilidade de utilização?	E1	(1)		
	E2	(2)		
	E3	(1)		
	E4	(1) e (2)		
	E5	(1)		
	E6	(1)		
	E7	(2)		
	E8	(1)		
(Q10) Qual é o nível de dificuldade (D) e a velocidade (V) para avaliação do iRML nas duas alternativas?			iRML (1)	iRML (2)
	E1	D	baixo	médio
		V	alto	médio
	E2	D	médio	alto
		V	baixo	médio
	E3	D	médio	alto
		V	médio	baixo
	E4	D	médio	médio
		V	alto	baixo
	E5	D	baixo	médio
		V	médio	baixo
	E6	D	baixo	médio
		V	alto	baixo
	E7	D	médio	médio
		V	médio	médio
	E8	D	médio	médio
V		médio	médio	

As duas formas de avaliação do iRML são identificadas por: (1) iRML descritivo em escala e estratificado e (2) iRML híbrido

Fonte: Produção do autor.

9.1.5 Análise e discussão dos resultados

A análise e discussão dos resultados utiliza como referência os objetivos experimentais estabelecidos (O1 – O7) conforme abaixo.

(O1) Verificar a utilidade do iRML para informar o nível de maturidade de um risco.

De acordo com as respostas de (Q1) e (Q2), apresentadas na Tabela 9.3, a maioria dos entrevistados concordam que o iRML tem utilidade para representar a maturidade de um risco.

(O2) Verificar a eficácia do iRML como representação da maturidade de um risco.

De acordo com as respostas de (Q3), apresentadas na Tabela 9.3, todos os entrevistados concordam que o iRML é eficaz na representação da maturidade de um risco.

(O3) Verificar a consistência do iRML quanto sua formação, compatibilidade entre abordagens híbrida e descritivas (escala e estratificada), e validade quanto à expectativa (percepção) do entrevistado.

De acordo com as respostas de (Q4) e (Q5), apresentadas na Tabela 9.3, todos os entrevistados ao menos concordam que o iRML é consistente quanto aos elementos de formação e entendem que deve existir um balanceamento através de pesos diferentes para a importância na agregação final do índice principal do iRML híbrido.

A compatibilidade entre os resultados obtidos das abordagens de iRML descritivas e iRML híbrido é analisada nos seguintes pontos:

- De acordo com a Tabela 9.2 e utilizando as faixas indicativas de diferenças entre as avaliações de um mesmo risco (apresentado ao final da tabela) pelo mesmo avaliador, a maioria dos julgamentos é considerada similar (i.e. diferença menor ou igual a 0,5). Observa-se que alguns comentários dos entrevistados indicam incertezas e ambiguidades

de julgamento em ambos os métodos, com maior intensidade para o método descritivo em escala enquanto nenhum relato indica problemas de ambiguidade no método estratificado.

- Observa-se que a configuração dos pesos pré-definidos para o iRML híbrido é similar aos pesos intuitivos utilizados na abordagem descritiva em escala, ao observar os julgamentos estratificados por aspecto de maturidade (Tabela 9.5).
- O ROML preestabelecido na abordagem do iRML híbrido é compatível com os julgamentos dos avaliadores na abordagem descritiva estratificada.
- O R&D³ como amplificador do TRL no TM&MCM gera um decréscimo no índice principal do iRML híbrido importante, que ajuda na diferença entre os métodos. Na avaliação das abordagens de iRML descritivas, a divergência entre as avaliações dos elementos do iRM foi identificada (Tabela 9.5), assim como identifica-se o maior peso intuitivo adotado para o RKM e TM&MCM.

Validade quanto a expectativa dos entrevistados (impressão geral): Os resultados confirmam que o iRML representa os fundamentos e maturidade de um risco, mas alguns pontos de dificuldade nas avaliações foram identificados pelos entrevistados (discutidos na Seção 9.1.5.1).

(O4) Verificar características comparativas de utilização das abordagens híbrida e descritivas (escala e estratificada), incluindo impressões sobre a ferramenta de análise disponibilizada.

As respostas das questões (Q6) a (Q10), apresentadas na Tabela 9.4 são dedicadas para a comparação entre as abordagens e são apresentadas a seguir:

- As respostas dos entrevistados sobre a comparação de adequação entre as abordagens (Q6) apresentam um equilíbrio, portanto, um resultado inconclusivo. Comentários dos entrevistados sugerem a utilização de ambas as abordagens de forma complementares;

Tabela 9.5 - Detalhamento das avaliações dos elementos do iRML nas abordagens descritivas (escala e estratificado).

Risco	Entrevistado	Escala	Estratificado ¹			
		iRML	RKM	TM&MCM	ROM	RP&RB
ID1	E3	4	4	5	3	4
ID2	E3	3	3	4	3	4
ID3	E1	4	4	5	3	5
	E2	4	5	4	3	3
ID4	E1	2	2	4	3	5
	E2	4	5	4	3	3
ID5	E6	5	5	5	3	5
ID6	E5	4	5	*	4	2
	E6	3	2	3	3	5
ID7	E8	4	5	4	4	5
ID8	E1	4	5	4	4	5
	E2	5	5	4	4	4
ID9	E1	3	3	3	2	5
	E2	3	4	3	3	3
ID10	E7	2	2	4	*	1
ID11	E1	2	2	2	3	5
	E2	3	4	3	3	3
	E5	3	3	*	4	2
ID12	E2	3	3	3	4	3
	E5	4	5	*	4	2
ID13	E4	5	5	5	*	5
ID14	E4	2	2	*	*	3

Com referência ao nível iRML (geral) avaliado:

	Avaliação idêntica
	Pequena divergência superior (diferença de 1 nível)
	Média divergência superior (diferença de 2 níveis)
	Grande divergência superior (diferença ≥ 3 níveis)
	Pequena divergência inferior (diferença de 1 nível)
	Média divergência inferior (diferença de 2 níveis)
	Grande divergência inferior (diferença ≥ 3 níveis)

¹ Os níveis de maturidade do modelo estratificado foram convertidos em números (muito alto – 5; alto – 4; médio – 3; baixo – 2; muito baixo -1) para facilidade de comparação.

*Não foi avaliado. ROM – falta de visibilidade do INPE como um todo; TM&MCM – dificuldade/impossibilidade declarada para o relacionamento do risco com uma tecnologia ou conjunto tecnológico.

Fonte: Produção do autor.

- As respostas da (Q7) são unânimes quanto a facilitação de julgamento com a separação dos atributos, método adotado na abordagem de iRML híbrido e iRML descritiva estratificada. Conclui-se que, mesmo havendo

algum grau de incerteza na avaliação dos atributos separadamente, as abordagens híbrida e estratificada isentam o avaliador de uma decisão macro, onde ocorrem maiores incertezas para o julgamento;

- As respostas da (Q8) mostram a validade das abordagens descritivas, mas não unânime. Mesmo após a avaliação detalhada do iRML híbrido, as escolhas realizadas nos julgamentos das abordagens descritivas não seriam alteradas, mostrando que há uma convergência entre as abordagens investigadas;
- As respostas da (Q9) mostram que os entrevistados percebem maior facilidade de utilização das abordagens descritivas, principalmente a estratificada, pela ausência de uma decisão de um nível global de maturidade de um risco;
- As respostas da (Q10) mostram que a dificuldade para avaliação (julgamentos) é maior na abordagem do iRML híbrido, ou seja, há uma convergência no entendimento que o julgamento é mais fácil nas abordagens descritivas. Quanto a característica de velocidade, a maioria dos entrevistados julga que o método escala é mais rápido para avaliação. Os comentários apontam que, após o primeiro contato e experiência com o método, algumas dificuldades estariam superadas para próximas avaliações, tornando-se uma questão de treinamento e prática.

Os resultados mistos sobre a comparabilidade das abordagens (O4) sugerem que ambas possuem validade de representação da maturidade de um risco, mas possuem naturezas diferentes (discussão na Seção 10.1).

(O5) Analisar a consistência de avaliações do iRML realizadas por diferentes indivíduos para o mesmo risco.

Essa análise somente é viável com a amostra de cinco riscos (ID3, ID4, ID8, ID9 e ID11), avaliados pelos entrevistados E1 e E2, que fizeram parte do time de projeto em uma mesma disciplina e realizaram a análise dos riscos de forma

conjunta, na época de realização do Estudo Conceitual. A análise está segmentada em três partes, conforme a seguir:

- A comparação e análise dos resultados entre a avaliação das abordagens descritivas do iRML está apresentada na Tabela 9.6.

Tabela 9.6 - Comparação dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados (abordagens descritivas do iRML).

Item	Avaliador	ID 3	ID 4	ID 8	ID 9	ID 11
iRML (escala)	E1	4	2	4	3	2
	E2	4	4	5	3	3
RKM	E1	4	2	5	3	2
	E2	5	5	5	4	4
TM&MCM	E1	5	4	4	3	2
	E2	4	4	4	3	3
ROM	E1	3	3	4	2	3
	E2	3	3	4	3	3
RP&RB	E1	5	5	5	5	5
	E2	3	3	4	3	3

	Avaliação idêntica
	Pequena divergência (diferença de 1 nível)
	Média divergência (diferença de 2 níveis)
	Grande divergência (diferença \geq 3 níveis)

Os níveis de maturidade do modelo estratificado foram convertidos em números (muito alto – 5; alto – 4; médio – 3; baixo – 2; muito baixo -1) para facilidade de comparação.

Obs. Os critérios estabelecidos para comparação da abordagem escala são baseados na diferença numérica.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

A) Quanto aos aspectos de maturidade avaliados: O RP&RB é o item avaliado que apresentou o maior número de divergências. *Análise: pouca familiaridade dos entrevistados com os conceitos de psicologia de risco.*

B) Quanto aos riscos: Os riscos ID 4 e ID 11 foram os riscos avaliados com o maior número de grandes e médias divergências entre os aspectos de maturidade avaliados. *Análise: dificuldade de avaliação de riscos programáticos (relatado por ambos os entrevistados).*

O risco ID 8 foi risco avaliado com o maior número de convergências e ausência de divergências médias e grandes (elementos individuais do iRM), porém, apresenta pequena divergência na avaliação global do iRML. *Análise: maior experiência dos avaliadores no assunto relacionado ao risco em questão.*

C) Geral: *Nota-se que as avaliações de RKM para o avaliador E1 tiveram maior influência (maior peso na decisão) na avaliação do iRML geral, com exceção apenas do risco ID 8. Neste caso específico, o avaliador foi mais conservador, observando-se as avaliações individuais dos elementos do iRML. Enquanto o avaliador E2 não apresenta, explicitamente para todos os riscos, um peso de preferência relacionado ao RKM.*

Fonte: Produção do autor.

- A comparação e análise dos resultados entre a avaliação do índice principal do iRML híbrido está apresentada na Tabela 9.7.

Tabela 9.7 - Comparação dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados (abordagem iRML híbrido).

Item	Avaliador	ID 3	ID 4	ID 8	ID 9	ID 11	
Índice principal do iRML híbrido	E1	3,38	1,87	3,55	2,54	1,86	
	E2	3,63	3,66	3,68	3,17	3,17	
RKM	E1	80%	20%	87%	63%	31%	
	E2	90%	91%	92%	72%	72%	
	Dados e Informações	E1	96%	34%	79%	49%	30%
		E2	76%	80%	84%	63%	63%
	Julgamento	E1	70%	25%	100%	50%	50%
		E2	100%	100%	100%	100%	100%
	Premissas	E1	70%	10%	70%	70%	10%
		E2	100%	100%	100%	70%	70%
	Conhecimento	E1	85%	10%	100%	85%	35%
		E2	85%	85%	85%	55%	55%
TM&MCM	E1	50%	50%	50%	17%	26%	
	E2	50%	50%	50%	50%	50%	
ROM	E1	60%	60%	60%	60%	60%	
	E2	60%	60%	60%	60%	60%	

Avaliação similar (diferença $\leq 0,5$ nível de iRML ; diferença $\leq 10\%$ de maturidade)
Pequena divergência (diferença $> 0,5$ e $\leq 1,0$ nível de iRML ; diferença $> 10\%$ e $\leq 20\%$ de maturidade)
Média divergência (diferença $> 1,0$ e $\leq 1,5$ nível de iRML ; diferença $> 20\%$ e $\leq 30\%$ de maturidade)
Grande divergência (diferença $> 1,5$ nível de iRML ; diferença $> 30\%$ de maturidade)

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

A) Quanto ao índice principal do iRML híbrido: A avaliação dos riscos ID 4 e ID 11 apresentaram, respectivamente, grande e média divergência de avaliação. *Análise: dificuldade de avaliação riscos programáticos (relatado por ambos os entrevistados).*

B) Quanto aos elementos do iRML híbrido: Fica evidente a sobreposição do julgamento do RKM quanto a maior importância para o índice principal do iRML. *Análise: esta constatação é o resultado dos pesos atribuídos utilizados para o estudo de caso.*

Os avaliadores optaram por avaliações de $R\&D^3 \geq 2$, isso resultou em valores finais de $TM\&MCM \leq 50\%$. *Análise: os avaliadores entendem que ainda há certo grau de desenvolvimento tecnológico a ser percorrido com as soluções propostas.*

C) Quanto aos elementos do RKM: Nota-se que os elementos de Maturidade do Julgamento e das Premissas assumidas apresentam as maiores divergências entre os riscos avaliados. *Análise: O avaliador E2 julgou os maiores níveis de maturidade para os atributos do RKM (maioria entre 70% a 100%), o avaliador E1 julgou níveis majoritariamente menores (maioria entre 10% a 70%).*

Os riscos ID 4 e ID 11 apresentaram majoritariamente grandes divergências de avaliação. *Análise: dificuldade de avaliação riscos programáticos (relatado por ambos os entrevistados).*

Fonte: Produção do autor.

- A comparação geral e análise dos resultados entre a avaliação do iRML na abordagem descritiva em escala e híbrido está apresentada na Tabela 9.8.

Tabela 9.8 – Comparação geral dos julgamentos dos mesmos riscos por diferentes entrevistados.

Comparação entre as abordagens, referência por abordagem						
Item	Avaliador	ID 3	ID 4	ID 8	ID 9	ID 11
iRML (escala)	E1	4	2	4	3	2
	E2	4	4	5	3	3
	DIFERENÇA	0	40%	20%	0	20%
IP iRML (híbrido)	E1	3,38	1,87	3,55	2,54	1,86
	E2	3,63	3,66	3,68	3,17	3,17
	DIFERENÇA	5%	35,8%	2,6%	12,6%	26,2%
Comparação entre as abordagens, referência por avaliador						
Item	Avaliador	ID 3	ID 4	ID 8	ID 9	ID 11
iRML (escala)	E1	4	2	4	3	2
IP iRML (híbrido)		3,38	1,87	3,55	2,54	1,86
iRML (escala)	E2	4	4	5	3	3
IP iRML (híbrido)		3,63	3,66	3,68	3,17	3,17
		<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div> Avaliação similar (diferença $\leq 0,5$ nível de iRML)</div> <div> Pequena divergência (diferença $> 0,5$ e $\leq 1,0$ nível de iRML)</div> <div> Média divergência (diferença $> 1,0$ e $\leq 1,5$ nível de iRML)</div> <div> Grande divergência (diferença $> 1,5$ nível de iRML)</div> </div>				

Obs: O índice principal do iRML (híbrido) possui uma configuração padrão para a realização dos testes, onde o RKM, TM&MCM e o ROM foram configurados com pesos: $w_1=0,5$; $w_2=0,25$ e $w_3=0,25$ respectivamente.

continua

Tabela 9.8 – Conclusão.

ANÁLISE DOS RESULTADOS:

A) Consistência de avaliação entre diferentes avaliadores: A abordagem em escala apresenta apenas uma grande divergência (ID4) e duas pequenas divergências (ID8 e ID11), enquanto a abordagem híbrida apresenta uma grande (ID4), uma média (ID11) e uma pequena (ID9) divergência. *Análise: Considerando o fator gravidade de divergências, a abordagem híbrida tem o pior desempenho para avaliar o mesmo risco por diferentes entrevistados, entretanto, do ponto de vista de diferenças percentuais (relativo) existe uma diferença muito pequena, que desaparece se arredondarmos os valores do IP iRML híbrido. Há uma tendência de avaliações no mesmo sentido (exceto para o ID4), ou seja, riscos com melhores fundamentos, apresentam julgamentos melhores de iRML.*

Os iRMLs avaliados para os riscos ID 4 e ID 11 tem o maior número de grandes e médias divergências. *Análise: Assim como observado nas avaliações individuais das abordagens, os riscos avaliados são classificados como programáticos, resultando em distorções importantes entre as avaliações.*

B) Consistência das abordagens (mesmo avaliador): Há boa convergência quando o mesmo avaliador utiliza as diferentes abordagens, conforme constatado com demais dados do estudo. *Análise: As duas abordagens resultam em julgamentos semelhantes, com pequenos conflitos que podem ser explicados pela dificuldade de avaliação e diferentes condições entre os testes (atribuição de pesos).*

C) Observações gerais: *Problemas do estudo de caso a posteriori. Fixar os elementos ROM, pode levar a diferenças quanto a interpretação do avaliador sobre este nível adotado, pois é um elemento de livre julgamento na abordagem do iRML escala. Há uma tendência de avaliações no mesmo sentido.*

Fonte: Produção do autor.

(O6) Identificar a importância relativa entre os elementos do iRML.

Observando os resultados de julgamento do iRML descritivo estratificado e as respostas e comentários da (Q5), fica evidente a atribuição de maior importância aos elementos RKM e TM&MCM pelos entrevistados. Ainda, a convergência observada entre os resultados de avaliação das abordagens iRML escala e híbrido está relacionada aos pesos pré-estabelecidos para os resultados apresentados na Tabela 9.2, onde o RKM possui duas vezes a importância do que os elementos TM&MCM e ROM.

(O7) Observar os resultados de $IPE_{viés}$ e dinâmica de autodeclaração de comportamento ao risco.

Os resultados obtidos de $IPE_{viés}$ demonstram sinais da possibilidade de existência de vieses para alguns riscos e por avaliadores específicos do estudo

de caso, considerando a utilização da margem de contingência para sinais de alertas acima de 75%.

Os alertas de $IPE_{viés}$ do efeito da ambiguidade observados (i.e., ID4/E1 e ID6/E6) podem ser confrontados com os resultados do iRML híbrido e iRML escala obtidos por diferentes avaliadores. Neste caso, observa-se que pode ter havido uma subavaliação de maturidade, considerando que as avaliações realizadas pelos outros avaliadores dos mesmos riscos apresentaram valores superiores.

Enquanto para os alertas de $IPE_{viés}$ de falácia do planejamento (i.e., ID9/E2, ID11/E2 e ID14/E4), a avaliação de alto nível de confiança no julgamento do risco (i.e., elemento 1.2.2 do RKML) parece sustentar valores mais altos de maturidade, enquanto os demais atributos do RKML ponderados apresentam níveis variados de maturidade e conjuntamente insuficientes para balancear a confiança do julgamento, principalmente aqueles que possuem peso mais significativo.

A autodeclaração de comportamento ao risco foi identificada ao longo do estudo de caso, mas seus resultados não apresentam explicitamente relacionamentos ou conclusões relacionadas aos resultados de maturidade observados. Essa dimensão poderá ser utilizada como hipótese para situações adversas ou inconclusivas ao analisar os resultados de iRML obtidos.

9.1.5.1 Análise das dificuldades e comentários dos entrevistados

As questões principais absorvidas da análise e respostas aos comentários e sugestões realizadas pelos entrevistados (Apêndice O) são analisados abaixo:

- a) Dificuldades intrínsecas do estudo de caso e sua configuração:
 - A entrevista foi realizada após a finalização do Estudo Conceitual assim, mudanças ocorreram no cenário avaliado para alguns riscos (i.e., novas informações sobre evolução tecnológica) e houve esquecimentos de detalhes pelos entrevistados (i.e., perda de informações conhecidas à época da análise do risco e dificuldade de recuperar da memória os detalhes utilizados nos julgamentos);

- Houve a necessidade de adotar algum nível de contextualização e interpretação da descrição/caracterização de alguns riscos para permitir a realização dos julgamentos;
- A responsabilidade pela análise dos riscos (i.e., responsável pelo risco declarado) não ficou totalmente clara para alguns entrevistados;
- Os papéis e responsabilidades propostos para implementação do método híbrido (Figura M6, Apêndice M) não foram totalmente exercitados (e.g., avaliação do ROM e CML apenas pelo autor deste trabalho).

Análise: as questões intrínsecas do método em retrospectiva (a posteriori) do estudo de caso não deverão ocorrer em situações de aplicação do método paralelamente à análise de riscos. Entretanto, as características e métodos utilizados no contexto de aplicação podem ter efeitos na avaliação do iRML, como no caso de problemas na descrição/caracterização dos riscos.

b) Dificuldades de avaliação do iRML descritivo (em escala e estratificado):

- Dificuldade de julgamento na convergência de muitas características em um mesmo nível descritivo, gerando dúvida na decisão sobre qual iRML final estabelecer para um risco (abordagem iRML em escala);
- Dificuldade de avaliação do ROM, por falta de visibilidade organizacional deste aspecto.

Análise: a utilização da abordagem iRML descritiva estratificada nos aspectos de maturidade isenta o avaliador de um julgamento integrado de critérios nem sempre totalmente convergentes com a descrição estabelecida. A questão de avaliação do elemento ROM pelo entrevistado (especialista) poderá ser resolvida nos casos em que os integrantes do projeto pertencerem a mesma organização, ao estabelecer uma avaliação fixa e sob responsabilidade de atores do estudo com visibilidade organizacional (i.e., similar aos papéis e responsabilidades estabelecidos para o iRML híbrido). Os entrevistados em geral apresentaram pouca dificuldade em julgar os aspectos de maturidade individualmente (método estratificado), entretanto, na abordagem em escala, os julgamos divergentes

entre os aspectos de maturidade dificultaram a convergência de um julgamento geral de iRML (escala).

c) Dificuldades de avaliação do iRML híbrido:

- Necessidade de contextualizar os atributos e critérios sob avaliação;
- Os entrevistados gostariam de possuir o poder de decisão sobre os pesos de importância (igualmente à abordagem do iRML em escala);
- Fixar uma configuração de pesos para todos os riscos. Muitos entrevistados não ficaram confortáveis com a premissa de fixar uma configuração de pesos para todos os riscos de um estudo.

Análise: os atributos foram construídos com uma base genérica para atender diversas possibilidades, assim, admite-se um certo grau de incerteza na avaliação quanto a necessidade de alguma contextualização ao caso específico sob análise; O poder de decisão no iRML híbrido está sob responsabilidade e domínio dos demandantes de um estudo (ou stakeholders principais), o que diferencia fundamentalmente das abordagens descritivas (escala e estratificada). Uma estratégia diferente pode ser investigada na aplicação prática do método sobre a configuração de pesos como, por exemplo, permitir algum grau de liberdade, além do julgamento dos atributos individuais, para que o avaliador do risco represente a sua percepção de importância.

d) Dificuldades gerais:

- Relacionamento de uma tecnologia ou conjunto tecnológico para riscos programáticos. O exercício de abstrair um nível tecnológico do sistema em desenvolvimento relacionado ao risco mostrou ser difícil em alguns casos.

Análise: a premissa de associar uma tecnologia ao risco e avaliar os elementos TRL e R&D³ tem como fundamento a utilização do weakest link/roll up, método utilizado pela NASA e recomendado em Hirshorn e Jefferies (2016), mesmo admitindo a questão de penalização geral da avaliação de um sistema (i.e.,

estratégia similar é recomendada na avaliação do CML (WESSEN et al., 2022)). A avaliação do TRL das tecnologias de um sistema espacial normalmente faz parte da cultura de estudos conceituais, entretanto, formas alternativas podem ser investigadas com a integração de outras FOMs como o IRL ou SRL, mas a complexidade, falta de informações detalhadas e a necessidade de maior tempo para avaliações pode tornar inviável de realização em um estudo conceitual. Alternativamente, para mitigar essa questão e que foi aplicada no estudo de caso é considerar os aspectos tecnológicos em nível de maturidade máxima quando o avaliador entende que não existem potenciais impactos para o risco avaliado/descrito quanto aos aspectos tecnológicos.

- Dificuldade de compreensão do propósito de uso do RP&RB;

Análise: para muitos entrevistados esses conceitos foram apresentados pela primeira vez, possivelmente refletido pelo nível de maturidade da organização quanto a disciplina risco ou ainda, por tratar-se de um ambiente de engenharia (entendimento do conceito “risco objetivo” realismo ontológico por especialistas).

- Dificuldade para avaliar riscos programáticos. Foram relatadas dificuldades na avaliação dos atributos do iRML para os riscos programáticos, com necessidade de maior esforço de contextualização.

Análise: duas hipóteses causadoras são identificadas, primeiro quanto a formação dos elementos do TM&MCM que utilizam componentes de avaliação tecnológica (i.e. dado a dificuldade de relacionar o risco a uma tecnologia ou conjunto tecnológico); segundo, quanto à dificuldade intrínseca de tratar os aspectos programáticos de um estudo, pois normalmente existem grandes incertezas associadas.

9.1.6 Validação dos objetivos experimentais

A Tabela 9.9 resume a validação dos objetivos experimentais para o estudo de caso realizado. Considerando que todos os objetivos experimentais foram

atingidos, conclui-se que o estudo de caso foi satisfatório para avaliar o conceito iRM e as abordagens de avaliação do iRML.

Os resultados geram importantes elementos para o aprimoramento de alguns aspectos das propostas, enquanto outros não fazem parte do escopo desse trabalho, mas do contexto de aplicação.

Tabela 9.9 - Validação experimental do estudo de caso.

Objetivo	Atingido?	Resultado
O1	SIM	O iRML tem utilidade para informar o nível de maturidade de um risco.
O2	SIM	O iRML é eficaz na representação da maturidade de um risco.
O3	SIM	O iRML tem consistência de formação, há compatibilidade de resultados entre as abordagens (descritivas e híbrida) e há validade quanto a expectativa dos entrevistados. Entretanto, existem ambiguidades de julgamento global na abordagem descritiva em escala.
O4	SIM	Resultados mistos quanto à comparação das abordagens descritivas e híbrida, na visão dos entrevistados. Observando os relatos e resultados levam a concluir que o método descritivo estratificado tem menor dificuldade de utilização.
O5	SIM	As condições e dificuldades de estudo em retrospectiva, somadas às dificuldades no julgamento e características dos riscos programáticos dificultam afirmar a consistência de avaliação por diferentes indivíduos. Ao considerar apenas os riscos técnicos há convergência aceitável entre as avaliações para as diferentes abordagens de iRML investigadas (maiores divergências na avaliação dos aspectos de percepção e comportamento ao risco).
O6	SIM	Há explicitamente uma tendência de importância entre os elementos do iRML, primeiro do RKM, seguido do TM&MCM.
O7	SIM	Os resultados do índice de possibilidade de existência de vieses e do comportamento ao risco foram observados e podem indicar pontos de atenção aos riscos.

Fonte: Produção do autor.

Os resultados demonstram que a proposta do conceito iRM e sua forma de expressão iRML tem utilidade, consistência e eficácia na representação da maturidade de um risco para informar tomadas de decisão. A análise de comparabilidade entre os resultados das abordagens demonstrou que há convergência entre as formas de expressão do iRM, entretanto, não houve um consenso da percepção comparativa dos entrevistados sobre a adequabilidade entre as abordagens.

A consistência de avaliação do iRML dos mesmos riscos, por entrevistados diferentes que realizam conjuntamente a identificação, avaliação e julgamento dos riscos na época do estudo conceitual mostrou que há convergência para os riscos técnicos, enquanto pela natureza de maior incerteza de riscos programáticos, não foi possível a mesma conclusão.

As conclusões gerais sobre os resultados obtidos do estudo de caso mostram que as formas de medida do conceito iRM são válidas na demonstração de maturidade de riscos, mas existem alguns desafios para a aplicabilidade prática dessas abordagens a serem melhor investigadas em cada contexto de aplicação.

Os aspectos de psicologia e ciências sociais, abordados no elemento RP&RB, foram exercitados no estudo de caso com limitação à sensibilidade das informações que podem ser interpretadas como de propriedade pessoal, mesmo considerando a descaracterização adotada e seguindo as diretrizes da legislação vigente (e.g., Lei Geral de Proteção de dados Pessoais – LGPD (BRASIL, 2018)). Entretanto, é ressaltada a necessidade de abordar esses aspectos na análise de riscos, conforme apresentado ao longo da Tese.

10 DISCUSSÕES

Este Capítulo apresenta as discussões gerais sobre o método desenvolvido em comparação entre as abordagens de iRML propostas, comparação com métodos da literatura, aplicabilidade e utilidade, e finalmente, as lições aprendidas da pesquisa realizada.

10.1 Interrelação entre as abordagens de iRML

De acordo com as diferentes abordagens desenvolvidas de iRML (i.e., híbrido, descritiva em escala e estratificada), nota-se que há uma diferença fundamental quanto ao poder de decisão sobre a importância dos aspectos avaliados. No iRML híbrido, o poder de decisão sobre a importância é previsto de ser estabelecido pelos decisores (i.e., demandantes de um projeto) que irão utilizar as informações. Esta calibração é realizada através da flexibilidade de métodos de atribuição de pesos, conforme apresentado na Tabela 8.8, Seção 8.1.5.1.1.

Enquanto nas duas abordagens descritivas, a classificação de maturidade do risco (escala) ou dos níveis de maturidade dos aspectos de maturidade individualmente (estratificado), a decisão sobre a importância dos atributos é do avaliador do risco. Essa mudança de perspectiva exclui as necessidades do decisor dos resultados, tornando as abordagens escala e estratificada mais próximas dos métodos normativos, conforme definido em Paté-Cornell (2007).

Os resultados do estudo de caso mostraram convergência na comparabilidade dos resultados gerados pelas diferentes abordagens, mas isto pode ter ocorrido dado a fixação dos pesos de importância dos aspectos do índice principal do iRML híbrido similares aos pesos intuitivos utilizados no julgamento das abordagens descritivas (i.e., observados pelo comportamento e respostas de julgamentos dos entrevistados). Portanto, não representando necessariamente a existência de convergência entre as abordagens.

Quanto a subjetividade no julgamento, entendido como a influência de valores dos avaliadores no julgamento da maturidade de riscos (i.e., *value-ladenness*), todas as abordagens desenvolvidas estão sujeitas a este fenômeno, por estarem

intrinsecamente atreladas ao julgamento qualitativo. Entretanto, especialmente a abordagem do iRML híbrido busca limitar a influência de valores com a caracterização mais específica dos atributos avaliados de maturidade (i.e., ver discussão do RKML na Seção 8.1.1.3).

Portanto, a decisão de qual estratégia deve ser utilizada em cada situação depende da política e necessidades a serem adotados em cada contexto. Por exemplo, duas questões importantes a serem consideradas são a estratégia sobre o poder de decisão de importância dos atributos e o nível de detalhamento desejado, que são drasticamente diferentes entre as abordagens.

10.2 Comparação com métodos da literatura

Esta seção compara o método apresentado neste trabalho com outros métodos voltados para a análise de riscos na fase conceitual de um projeto espacial, aplicáveis a ambientes de engenharia simultânea encontrados na literatura, introduzidos na Tabela 6.2 e da observação de relatórios finais de estudos de centros de engenharia simultânea (CDF e TeamX). A análise comparativa apresentada na Tabela 10.1 mostra os resultados previstos (*output*) em cada método e como os aspectos de maturidade são apresentados nos resultados de aplicação do método.

A partir da análise realizada, observa-se que as publicações que discutem os métodos, em sua maioria, reconhecem ao menos parcialmente a importância dos aspectos de maturidade tratados no iRM e suas influências na análise de riscos. Entretanto, estes aspectos não são integrados ou explicitados como resultados dos riscos analisados, gerando limitações ou, em piores casos, interpretações e conclusões que não refletem a verdadeira fundamentação que sustenta os riscos declarados. Adicionalmente, conforme (VAN BOSSUYT; TUMER; WALL, 2013), muitos métodos encontrados na literatura permanecem como propostas acadêmicas e sem aplicações reais em ambientes de projeto.

A comparação com os métodos utilizados no CDF e JPL, inferidos através de análise dos relatórios finais de estudos (de disponibilidade limitada), mostram que os resultados finais de análises de riscos limitam-se à caracterização de

riscos de acordo com o conceito tripé de risco (KAPLAN; GARRICK, 1981) e matriz de riscos, enquanto os aspectos de maturidade integrados ao conceito iRM não são sistematicamente representados como resultado das análises. Por exemplo, os aspectos de conhecimento/falta de conhecimento são apresentados em casos isolados na descrição de riscos, o TRL é normalmente utilizado como referência para os aspectos de maturidade do contexto (projeto), mas os aspectos organizacionais e de psicologia ou socioculturais são negligenciados.

As comparações ressaltam o caráter inovador do método apresentado neste trabalho, pois não foi encontrado na literatura o conceito de maturidade de riscos e a integração de diferentes naturezas de aspectos relacionados aos riscos em um método singular.

Os argumentos apresentados ao longo da estruturação do método de avaliação de maturidade de riscos desenvolvido neste trabalho, também refletidos em outras pesquisas, reforça a necessidade e importância de gerar informações que suportem tomadas de decisões (RIDM).

Tabela 10.1 – Análise comparativa de métodos encontrados na literatura e desenvolvido neste trabalho quanto aos aspectos de maturidade do iRM.

Método	Resultado (<i>output</i>)	Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
		Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>Defect Detection & Prevention (DDP)</i></p> <p>(CORNFORD; FEATHER; HICKS, 2001)</p>	<p>Uma árvore de modos de falha; Lista de riscos orientada aos requisitos do projeto, contendo a criticidade dos modos de falhas através dos seus possíveis impactos nos requisitos (balanceados por importância relativa); Lista de requisitos priorizados pelo risco e sua extensão; Sumário gráfico com matriz de requisitos priorizada por modos de falhas e riscos residuais se mitigações (PACTs) são selecionadas.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece a dependência do método quanto ao conhecimento, informações e dados disponíveis para definir os modos de falhas, mitigações possíveis (PACTs) e seus resultados, mas não apresenta como saída da aplicação do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Admite a integração de resultados analíticos quantitativos com o julgamento de engenharia e intuição dos especialistas, mas não apresenta como saída da aplicação do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece os diferentes resultados obtidos em fases diferentes do ciclo de vida (intensão de aplicação do método), mas não apresenta como saída da aplicação do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Apresenta a integração do método com o gerenciamento de riscos da NASA, mas não apresenta os aspectos organizacionais como saída da aplicação método.</p>
<p><i>Risk and Uncertainty Based Concurrent Integrated Design Methodology (RUBIC)</i></p> <p>(FARHANG MEHR; TUMER, 2006)</p>	<p>Um espectro probabilístico para redução de riscos esperados por alocação ótima de recursos para mitigação; Um vetor de alocação de recursos em tempo-real, durante a realização de um projeto.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece que o método é dependente do conhecimento disponível sobre as funções do sistema e modos de falhas funcionais, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece que as probabilidades de falhas funcionais podem ter origem na intuição de engenheiros ou estimativas de princípios fundamentais, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece os diferentes níveis de profundidade de informações a serem gerados pelo método, dependendo das entradas em diferentes estágios de desenvolvimento de um projeto, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p>

continua

Tabela 10.1 – Continuação.

Método	Resultado (<i>output</i>)	Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
		Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>Expected Productivity-based Risk Analysis (EPRA)</i></p> <p>(WERTZ; MILLER, 2006)</p>	<p>Espectro probabilístico (probabilidade ou funções distribuição acumulada – cdfs) da produtividade esperada (<i>expected productivity</i>) do sistema.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece a dificuldade de precisão em julgamentos de engenharia à medida que os sistemas se tornam mais complexos, mas não apresenta como saída do método. Também reconhece a pequena quantidade de dados disponíveis para verificar a acurácia dos resultados do modelo, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece a percepção de risco por engenheiros como forma de identificação de riscos, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Trata da produtividade esperada (como alternativa aos riscos baseados em confiabilidade).</p> <p>* Reconhece as diferentes formas de tratamento de riscos em diferentes fases de desenvolvimento, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p>
<p><i>Risk trading vector method</i></p> <p>(VAN BOSSUYT; TUMER; WALL, 2013).</p>	<p>Vetor de riscos incluindo diferentes métricas: de riscos, confiabilidade, robustez e incertezas.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Admite o julgamento de especialistas em estudos conceituais para análise de riscos (inclusive no vetor de risco proposto) e reconhece as incertezas epistêmicas, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece as incertezas comportamentais humanas, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Não identificado.</p>
<p><i>Expert elicitation for engineering design risk analysis</i></p> <p>(BABUSCIA; CHEUNG, 2014); (BABUSCIA; CHEUNG, 2013).</p>	<p>Gera um índice/pontuação para agregar avaliações de múltiplos especialistas em análise de riscos (elicitação de probabilidades sobre variáveis na ausência de distribuições de densidade).</p>	<p>O índice/pontuação reflete a probabilidade subjetiva (desempenho dos especialistas na modelagem de probabilidades) e incertezas epistêmicas da falta de conhecimento.</p> <p>* Reconhece que as probabilidades subjetivas devem refletir o verdadeiro conhecimento de especialistas. Quantifica calibração (i.e., medida entre probabilidade subjetiva e “probabilidade real” – densidade de probabilidades) da elicitação de opiniões de especialistas (múltiplas e possivelmente conflitantes). O método inclui a pontuação de calibração que reflete as estimativas de probabilidades.</p>	<p>O índice/pontuação reflete quais vieses os especialistas estão sujeitos e quão sobre confiantes ou subconfiantes estão as estimativas (quão sensível aos vieses).</p> <p>* Baseado na teoria de heurísticas e vieses (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974), reconhece a possibilidade dos diversos vieses na elicitação de especialistas. O método inclui a pontuação de qualidade que mede a sensibilidade dos especialistas aos vieses.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Não identificado.</p>

continua

Tabela 10.1 – Continuação.

Método	Resultado (<i>output</i>)	Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
		Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>Function-Failure Design Method (FFDM) / Risk in Early Design (RED)</i></p> <p>(LOUGH; STONE; TUMER, 2009).</p>	<p>Prove riscos individualmente considerando parâmetros de projeto, modos de falha, probabilidade de ocorrência e consequência como uma combinação de análise de falhas e avaliação de riscos; Provê uma matriz de riscos com os riscos identificados e o “centro de riscos” (similar ao conceito de centro de massa).</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Identifica a baixa maturidade de dados nas fases iniciais de projeto. Comenta sobre a redução de subjetividade na avaliação das componentes do risco. Enfatiza a importância de comunicar o conhecimento que suporta a análise de riscos (com referência à acidentes). Limita a aplicabilidade do método para modos de falha físicos conhecidos e um banco de dados populado para realização dos cálculos. Sugere que a análise de riscos seja realizada por especialistas experientes e com considerável conhecimento de falhas passadas e potenciais. Aponta que a classificação de severidade utilizando guias de pontuação (<i>scoring guidelines</i>) não elimina a subjetividade. Apesar de apontar todos esses elementos, nenhum deles é apresentado como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Afirma que não existem vieses no método proposto. e que a utilização de bancos de dados para calcular probabilidades e consequências ajudam a remover os vieses pessoais, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Enfatiza a relação entre os métodos de análise de riscos com a maturidade de projetos. Afirma que os riscos do produto estão fortemente relacionados ao contexto do sistema, mas não apresenta como saída do método.</p>	<p>Não identificado.</p>
<p><i>Advanced Concepts Evaluating Risk Tool (ACERT)</i></p> <p>(FABISINSKI; MAPLES, 2010).</p>	<p>Lista dos riscos principais e suas avaliações (<i>expected risk value – ERV</i>, como uma FOM), opinião dos especialistas sobre o risco e seu contexto técnico na missão e as possíveis opções de disposições (mitigações).</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Reconhece a necessidade de prover informações aos usuários da análise de riscos que permitam investigar formas de mitigação ou outras alternativas em estudos futuros. Afirma que as avaliações de risco na fase conceitual (Pré-Fase A, NASA) são baseadas no conhecimento dos especialistas. O método depende de um banco de dados de possíveis riscos.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Contexto técnico do risco é apresentado junto aos riscos correspondentes (elaborado pelos especialistas).</p> <p>* Recomenda a utilização de figuras de méritos (FOMs) para caracterizar o sistema sob análise.</p>	<p>Não identificado.</p> <p>* Enfatiza a necessidade de rigor no processo de análise de riscos, onde o RIDM (NASA) tem maior relevância na fase conceitual.</p>

continua

Tabela 10.1 – Continuação.

Método	Resultado (<i>output</i>)	Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
		Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>TEAM-X (JPL/NASA)</i> <i>Gravitational-Wave Mission Concept Study Final Report</i> (JPL/NASA, 2012)</p>	<p>Definições gerais da análise de riscos realizada; Matriz de riscos 5x5; Lista de riscos, contendo: - Identificador do risco; - Proponente do risco; - Tipo do risco; - Título do risco; - Descrição do risco; - Nível de probabilidade (1-5); - Nível de impacto (1-5);</p>	<p>Não identificado sistematicamente.</p> <p>* A descrição de alguns riscos, traz elementos indicativos da falta de conhecimento.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Não identificado sistematicamente.</p> <p>* Utiliza o TRL na descrição de riscos relacionados a maturidade tecnológica.</p>	<p>Não identificado.</p>
<p><i>TEAM-X (JPL/NASA)</i> <i>Planetary Science Decadal Survey – JPL Team X Titan Lake Probe Study Final Report</i> (JPL/NASA, 2010)</p>	<p>Definições gerais da análise de riscos realizada; Matriz de riscos 5x5; Lista de riscos, contendo: - Identificador do risco; - Nível do risco (qualitativo A, M, B); - Descrição do risco; - Nível de impacto (1-5); - Nível de probabilidade (1-5); - Descrição de opção(ões) de mitigação; - Nível do impacto com mitigação (1-5); - Nível de probabilidade com mitigação (1-5).</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Apresenta o CML (4) das opções de conceitos de missões investigadas após o estudo realizado.</p> <p>* Apresenta uma estimativa de evolução do CML genérica. Apresenta um plano de desenvolvimento tecnológico baseado em TRL.</p>	<p>Não identificado.</p>

continua

Tabela 10.1 – Continuação.

Método	Resultado (<i>output</i>)	Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
		Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>CDF (ESTEC/ESA) Athena – Study Report</i></p> <p>(CDF/ESA, 2014)</p>	<p>Elementos da política de risco e configuração da análise;</p> <p>Matrizes de risco segmentadas por stakeholders principais da missão;</p> <p>Lista de riscos, contendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ID risco, - índice do risco (nível do risco P x I), - classificação, - descrição do risco, - descrição da causa, descrição da(s) consequência(s), - descrição de ações de mitigação (em realização), e - descrição de opções de mitigação (outras); <p>Análise e estimativa de desenvolvimento de tecnologias.</p>	<p>Não identificado sistematicamente.</p> <p>* A descrição das causas, em raros casos, traz elementos indicativos da falta de conhecimento.</p>	<p>Não identificado.</p>	<p>Não identificado sistematicamente.</p> <p>* Utiliza o TRL para identificar riscos de desenvolvimento tecnológico.</p>	<p>Não identificado.</p>

continua

Tabela 10.1 – Continuação.

Método	Resultado (<i>output</i>)		Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
			Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>Método de avaliação da maturidade de riscos e incertezas (iRML)</i></p> <p><i>Esta Tese</i></p>	<p><i>iRML híbrido</i></p>	<p>Para cada risco individual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - índice principal do iRML; - valores de $EPI_{viés}$; - declaração do comportamento ao risco. <p>detalhamento disponível:</p> <ul style="list-style-type: none"> - valores de maturidade das componentes (RKML, TM&MCML, ROML); - julgamento individual dos atributos do modelo de maturidade de riscos. 	<p>Integrado no índice principal do iRML e detalhamento disponível em três níveis:</p> <p>(1) RKML global (% e gráfico);</p> <p>(2) componentes do RKML (% e gráfico); e</p> <p>(3) julgamento individual dos atributos formadores do RKML.</p> <p>* Desenvolve um modelo representativo da maturidade de conhecimento que suporta a análise de riscos na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais.</p>	<p>(1) percepção ao risco (indireto): valores de $EPI_{viés}$ que indicam a possibilidade de existência dos vieses mais importantes na análise de riscos de projetos de sistemas espaciais;</p> <p>(2) declaração do comportamento ao risco do avaliador.</p> <p>* Desenvolve uma estrutura multi-modelos integrando os aspectos psicológicos e socioculturais em análise de riscos (subjéctiva/qualitativa) considerando diferentes níveis de abstracção.</p>	<p>Integrado no índice principal do iRML e detalhamento disponível em dois níveis:</p> <p>(1) TM&MCML global (% e gráfico);</p> <p>(2) julgamento individual das componentes do TM&MCML.</p> <p>* Desenvolve um modelo para representar a maturidade do contexto tecnológico e do projeto conceitual, representativo do contexto no qual o risco analisado se insere.</p>	<p>Integrado no índice principal do iRML e detalhamento disponível em dois níveis:</p> <p>(1) ROML (% e gráfico);</p> <p>(2) nível de maturidade CoPS-RM-CMM julgado, com a caracterização (descritiva) dos aspectos que o compõe.</p> <p>* Utiliza o CoPS-RM-CMM para diretamente representar a maturidade do contexto organizacional em gerenciamento de riscos.</p>
	<p><i>iRML escala</i></p>	<p>para cada risco individual:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nível de maturidade do risco (identificador único). - caracterização (descritiva, genérica) do nível de maturidade risco. 	<p>Implícito no nível de maturidade do risco, com caracterização genérica na descrição.</p> <p>* Desenvolve uma caracterização descritiva genérica para cada nível de maturidade de risco, considerando os aspectos integrados ao conceito de maturidade. A caracterização descritiva é fixada (padronizada), possivelmente não refletindo exatamente as especificidades do risco em análise.</p>			

continua

Tabela 10.1 – Conclusão.

Método	Resultado (<i>output</i>)		Representação dos aspectos de maturidade como saída do método			
			Conhecimento de suporte	Aspectos de psicologia e sociocultural ao risco	Contexto da atividade/projeto relacionado ao risco	Contexto organizacional
<p><i>Método de avaliação da maturidade de riscos e incertezas (iRML)</i></p> <p><i>Esta Tese</i></p>	<p><i>iRML</i></p> <p><i>estratificado</i></p>	<p>para cada risco individual: - níveis de maturidade individuais dos aspectos que integram a maturidade do risco (4 estados). - caracterização (descritiva) individual de cada nível dos aspectos que integram a maturidade do risco.</p>	<p>Nível de maturidade específico do aspecto RKM.</p> <p>* Desenvolve uma caracterização descritiva genérica para cada nível de maturidade do conhecimento que suporta a análise do risco. A caracterização descritiva é fixada (padronizada), possivelmente não refletindo exatamente as especificidades do risco em análise.</p>	<p>Nível de maturidade específico do aspecto RP&RB.</p> <p>* Desenvolve uma caracterização descritiva genérica para cada nível de maturidade dos aspectos psicológicos e socioculturais ao risco da análise do risco. A caracterização descritiva é fixada (padronizada), possivelmente não refletindo exatamente as especificidades do risco em análise.</p>	<p>Nível de maturidade específico do aspecto TM&MCM.</p> <p>* Desenvolve uma caracterização descritiva genérica para cada nível de maturidade do contexto tecnológico e de maturidade do projeto conceitual relacionados ao risco analisado. A caracterização descritiva é fixada (padronizada), possivelmente não refletindo exatamente as especificidades do risco em análise.</p>	<p>Nível de maturidade específico do aspecto ROM.</p> <p>* Utiliza a caracterização descritiva geral dos diferentes níveis de maturidade do modelo CoPS-RM-CMM como representação da maturidade da organização de origem do avaliador do risco. A caracterização descritiva é fixada (padronizada), possivelmente não refletindo exatamente as especificidades do risco em análise.</p>

Fonte: Produção do autor.

10.3 Aplicação e utilidade do método

O método proposto neste trabalho gera informações dos diferentes domínios de maturidade de riscos, para explicitamente informar usuários sobre os fundamentos dos riscos (individualmente), resultantes de uma análise de riscos. Os dados ou classificações de iRML acompanham outras informações geradas no processo de análise de riscos (e.g., níveis de probabilidade e impacto), conforme definidas pelo contexto de aplicação, e são entradas para o processo de análise de decisão.

As informações do iRML podem ser utilizadas de diferentes formas (i.e., objetivos finalísticos). Duas principais utilizações das informações geradas pela aplicação do método são destacadas. Primeiro, no contexto de tomada de decisões externas ao projeto, o conjunto de iRML dos riscos pode subsidiar decisões ou planejamentos relacionados ao projeto por financiadores ou agências reguladoras externas. Segundo, internamente ao projeto ou na organização de desenvolvimento, o iRML pode ser utilizado como indicador para o gerenciamento de riscos ou, de forma mais ampla, no gerenciamento do projeto como, por exemplo, influenciar na gestão de esforços ou como critério de aprovação e deliberação em marcos ou revisões de decisão. Conforme sugerido em Sauser et al. (2008), as métricas gerenciais podem identificar parâmetros críticos, estabelecer critérios para avaliar o progresso de projetos (marcos) e prover um direcionamento para o gerenciamento e mitigação de riscos.

Entretanto, para tornar os dados de iRML utilizáveis, assim como qualquer natureza de dados, dependem de um processo de inferência e possivelmente da combinação com outras naturezas de informações para gerar conclusões, conforme a lógica representada na Figura 10.1. A aplicação da abordagem do iRML híbrido gera dados com os seguintes significados:

- a) Índice principal do iRML (híbrido): representação analítica (semi-quantitativa) do conjunto de aspectos de maturidade de conhecimento de suporte (RKM), maturidade tecnológica e do projeto conceitual (TM&MCM) e maturidade da organização (ROM) de um risco individual, balanceado pelos interesses de decisão;

- b) Valores de $EPI_{viés}$: indicadores (semi-quantitativos) da possibilidade de existência de vieses na análise do risco;
- c) Declaração do comportamento ao risco: estado de comportamento ao risco autodeclarado do avaliador do risco na análise do risco;
- d) Valores de maturidade das componentes (RKML, TM&MCML, ROML): representação analítica (semi-quantitativa) do valor de maturidade (para cada aspecto de maturidade) julgado pelo avaliador do risco ou conforme responsabilidades atribuídas para o julgamento.

O processamento dos dados do iRML híbrido, descritos acima, pode resultar em conclusões, por exemplo, quanto a maturidade global do risco, consistência entre os níveis de maturidade dos aspectos de composição, e a potencial variabilidade ou mudança na descrição/caracterização do risco (ou mesmo sua existência). As conclusões sobre o processamento dos dados geram a utilidade final do método, por exemplo, quanto ao:

- a) Nível de confiança no risco para tomadas de decisão (e.g., *trustworthiness* (BANI-MUSTAFA et al., 2020a));
- b) Reconhecimento de pontos frágeis da análise do risco e da descrição/caracterização do risco em si (incertezas);
- c) Conhecimento da equipe e suas características (e.g., *general trust* (SIEGRIST, 2021));
- d) Identificação de pontos de melhoria no processo de análise de riscos;
- e) Identificação de lacunas de conhecimento (organizacional) sobre assuntos específicos relacionados ao risco;
- f) Entendimento geral da maturidade dos riscos de um projeto conceitual.

Para as abordagens descritivas (em escala e estratificada), a utilidade das informações geradas tem um detalhamento menor. Enquanto a abordagem estratificada consegue prover algum grau de comparação entre os níveis de maturidade dos aspectos componentes da maturidade do risco (intra-risco), a abordagem em escala resulta apenas em um indicador geral para

comparabilidade inter-riscos. Apesar da utilização de descrições genéricas e padronizadas em ambas as abordagens, os resultados provêm informações mínimas de um sentido de grandeza da maturidade dos riscos (abordagem escala) ou, especificamente dos aspectos de maturidade separadamente (abordagem estratificada), e podem ser necessárias em contextos que necessitem grande velocidade de avaliação.

A estratégia em que a análise de riscos é realizada durante a fase conceitual de um projeto pode incluir diversos ciclos de avaliação do iRML dos riscos, conforme ilustrado na Figura 10.2. Ao observar essa visão dinâmica de utilização do método, é possível correlacionar os riscos identificados e os iRMLs associados entre os diferentes ciclos de análises realizadas, tornando-a em uma ferramenta para diferentes estratégias de decisão em um projeto. Por exemplo, ao avaliar a maturidade (iRML) de um determinado risco em uma fase inicial de desenvolvimento, é possível o acompanhamento da sua evolução em termos de maturidade ao longo dos ciclos de identificação, avaliação e tratamento de riscos previstos no gerenciamento de riscos do projeto.

10.4 Lições aprendidas da pesquisa

O desenvolvimento de um método integralmente (i.e., pesquisa aplicada) e a necessidade de estabelecer um novo conceito (i.e., pesquisa básica) para sua fundamentação foram desafios importantes dessa pesquisa. Tal esforço de desenvolvimento necessitou de aprofundamento em discussões filosóficas que estão relacionadas na busca do estabelecimento dos pilares fundamentais da disciplina ou ciências do risco.

Além das soluções inventivas e conceitualmente fundamentadas para construir os modelos de representação dos aspectos de maturidade, é ressaltada a importância do estabelecimento de metodologias científicas apropriadas para o desenvolvimento das diferentes etapas dessa pesquisa.

Ao produzir um método, esta pesquisa contribui na disponibilização de artefatos que produzem informações relevantes da análise de riscos e que tem importância fundamental na melhoria de tomadas de decisão (RIDM). A

integração da visão construtivista através de abordagens semi-quantitativas em um ambiente tradicionalmente quantitativo e de visão realista é necessária devido à natureza do contexto na qual esta pesquisa se aplica. A estratégia de desenvolver um artefato complementar ou auxiliar não entra em conflito com a abordagem já adotada em contexto de aplicação do método desenvolvido neste trabalho, portanto, evitando conflitos de posicionamento filosófico e conceitual.

Ainda, considerando que o desenvolvimento de sistemas espaciais, assim como outros sistemas complexos, está inserido em organizações regimentadas ou orientadas por diretrizes normativas (AVEN; YLÖNEN, 2019), centradas em conceitos e métodos formais, aplicáveis e direcionados para situações mais comuns ou “normais” (e.g., disponibilidade razoável de conhecimento, dados e informações – frequência), o método desenvolvido nesta pesquisa não gera conflitos com estes padrões, por tratar-se de um método auxiliar ou complementar.

Quanto à utilização do método proposto, pode-se destacar como vantagens:

- a) Preenchimento da lacuna informacional observada em outros métodos aplicados ao contexto deste trabalho;
- b) Provê robustez à análise de riscos como suporte para tomada de decisões;
- c) Rápido julgamento e facilidade de comunicação das informações resultantes da aplicação do método;
- d) Não gera conflitos conceituais e de posicionamentos filosóficos com o contexto de aplicação;
- e) Voltado para visão futura de utilização das informações para decisões RIDM;
- f) A utilização do método pode melhorar (retroalimentar) os aspectos de maturidade da própria análise de riscos, com o reconhecimento da importância dos aspectos de maturidade (melhoria da cultura), por exemplo, como a mitigação de vieses.

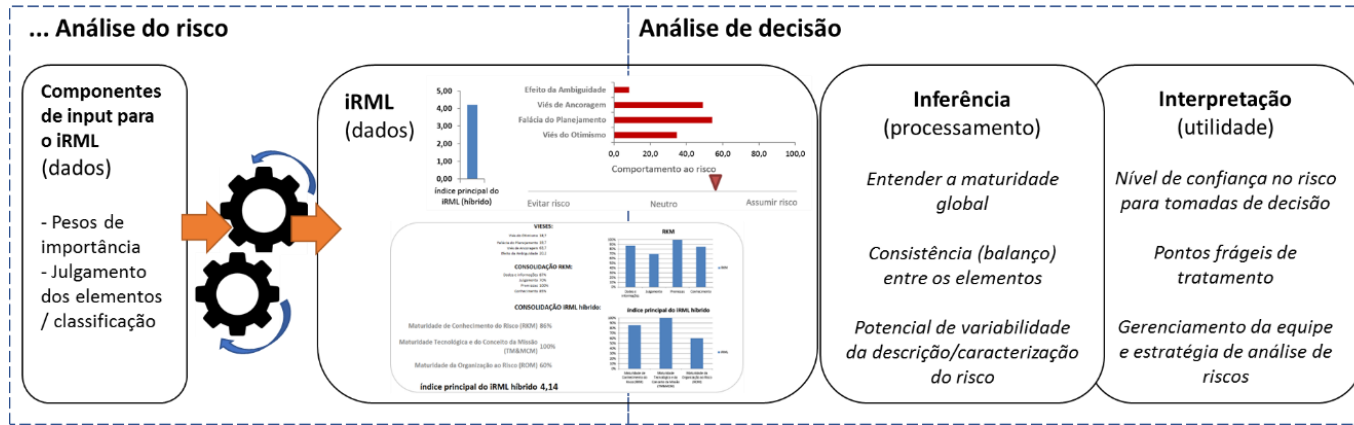
Ao mesmo tempo, são consideradas desvantagens da utilização do método desenvolvido:

- a) Necessidade de compreensão dos mecanismos internos, no caso do iRML híbrido, para utilização das informações e correlações em profundidade;
- b) Dificuldade de garantir julgamentos sob o mesmo entendimento dos conceitos e critérios de julgamento estabelecidos;
- c) Comparabilidade da maturidade de riscos restrita à mesma configuração do artefato utilizado;
- d) Dependência da coerência e veracidade dos julgamentos;

Também destacamos algumas limitações do método:

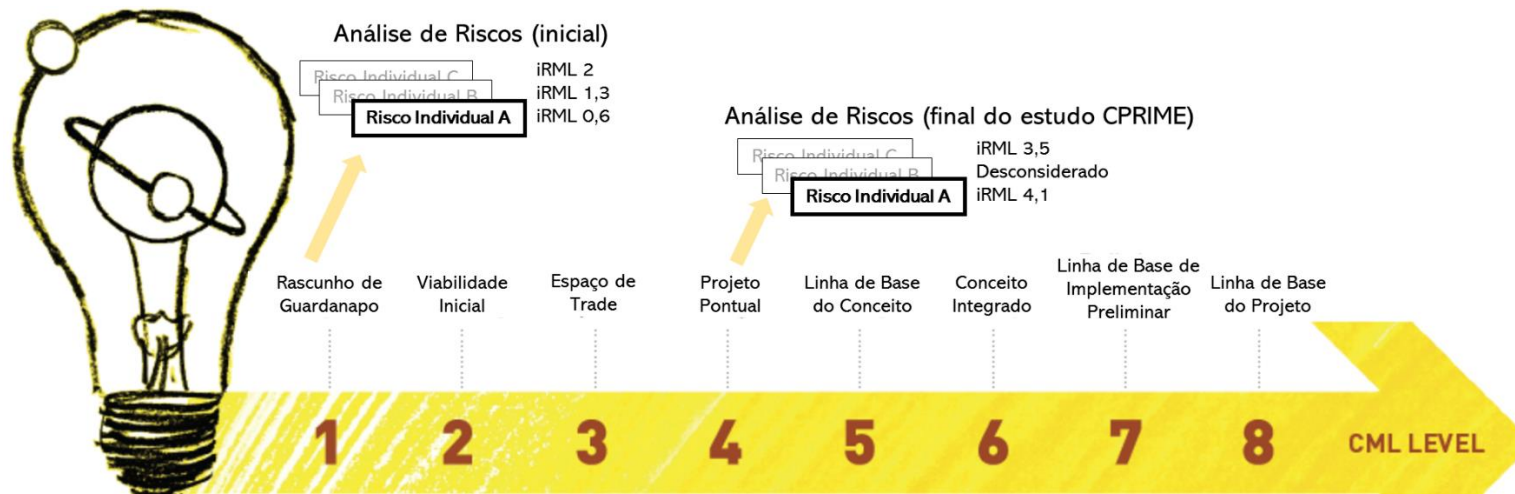
- a) RP&RB (integralmente) e RKM (parcialmente) limitados a identificar e caracterizar os aspectos de apenas um avaliador do risco;
- b) A avaliação de maturidade de riscos de natureza programática demonstrou ser mais limitada;
- c) A formação do iRML híbrido está restrito aos elementos formadores do modelo conceitual desenvolvido para cada aspecto de maturidade.

Figura 10.1 – Lógica do processamento e utilização dos dados de iRML.



Fonte: Produção do autor.

Figura 10.2 – Visão dinâmica de utilização dos dados de iRML.



Fonte: Adaptado de Wessen et al. (2022)

11 CONCLUSÃO

A construção e os resultados de aplicação do método, fundamentados em um arcabouço conceitual e metodológico estruturado, demonstraram que o método desenvolvido neste trabalho atende aos objetivos da pesquisa proposta. A aplicação do método desenvolvido contribui para complementar o processo de análise de riscos já implementado em uma determinada organização ou contexto, portanto, não gera implicações entre visões filosóficas conflitantes e a adoção de conceitos distintos.

No sentido de aplicação, o método aqui desenvolvido captura elementos que vão além da limitada caracterização de riscos do conceito de tripé do risco (i.e., cenários, probabilidade de ocorrência e consequência), adotada em abordagens tradicionalmente utilizadas no desenvolvimento de sistemas de engenharia. Ao caracterizar os aspectos de maturidade, um conjunto de informações dos fundamentos que estruturam ou sustentam a descrição de um risco e incertezas associadas, e o contexto de suas análises são disponibilizados aos usuários. Esses dados permitem tomadas de decisão mais bem embasadas em diferentes situações no decorrer de um projeto. Adicionalmente, a utilização do método em um contexto de análise de riscos, gera resultados adicionais como a conscientização sobre a possibilidade de existência de vieses e potencial eliminação destes ainda durante a análise.

A comparação com outros métodos, voltados para a análise de riscos neste contexto, deixa claro que, apesar de haver um reconhecimento da importância dos aspectos de maturidade (i.e., conforme conceito desenvolvido neste trabalho), outros métodos não avaliam ou sistematicamente representam a maturidade de riscos como resultado da análise de riscos. Além disso, a aplicação prática do método demonstra viabilidade de utilização no contexto para o qual foi desenvolvido (i.e., estudos conceituais em ambientes de engenharia simultânea, na fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais), enquanto não é possível afirmar o mesmo sobre alguns métodos encontrados na literatura.

Ao desenvolver diferentes formas de caracterização da maturidade de riscos (iRML), o método pode atender uma gama de diferentes necessidades, desde menos detalhadas e mais ágeis, mas somente na visão e de acordo com a importância dos aspectos de maturidade do avaliador do risco (iRML escala) até mais detalhadas, com maior granularidade de informações e considerando a importância de decisão (iRML híbrido).

De forma geral, além das contribuições em nível de aplicações (geral e específica), esse trabalho contribui no sentido acadêmico ao tratar de temas considerados desafios atuais da disciplina risco (apresentados na Seção 1.2), conforme os seguintes aspectos:

- caracterização, representação, propagação e interpretação de incertezas:
 - *o iRML, como resultado de aplicação do método pode ser considerado uma forma de representação de incertezas. Adicionalmente, o julgamento dos atributos de composição do modelo desenvolvido é entendido como uma forma de caracterizar as incertezas associadas ao risco.*
- apresentação apropriada do conhecimento e informação (como suporte para análise):
 - *O detalhamento disponível dos julgamentos do RKM provê informações sobre o conhecimento de suporte de um risco. Em menor detalhamento, a abordagem estratificada resulta em uma classificação do RKM, provendo um indicador de grandeza do conhecimento.*
- abordagens apropriadas para situações de grande incerteza:
 - *O método desenvolvido está voltado para a classe de problemas de análise de riscos sob grande incertezas e segue as diretrizes de olhar para o contexto do risco ao invés de buscar estimativas mais precisas. Essa estratégia permite que os decisores busquem soluções/políticas robustas e adaptativas.*

- como desenvolver um framework integrativo para conectar abordagens analíticas e cognitivas para a ciência do risco:
 - *O método está fundamentado em um novo conceito integrativo incluindo as perspectivas cognitivas (psicologia) e socioculturais. A abordagem de iRML híbrido integra os demais aspectos de maturidade de forma analítica (semiquantitativa). Ainda, como se trata de um método auxiliar, sua integração com a análise de risco de um contexto admite qualquer abordagem (exceto em filosofias de extremo realismo).*
- como descrever e representar os resultados da avaliação de risco de forma que apresente claramente as premissas e justificativas utilizadas com respeito ao conhecimento de suporte.
 - *A interface de apresentação das informações resultantes da aplicação do método, principalmente para o iRML híbrido, representa diretamente a maturidade de um risco incluindo o julgamento de premissas como formador do RMKL.*

11.1 Originalidade

Este trabalho desenvolveu um novo conceito, denominado conceito integrativo de maturidade de riscos (iRM) que não foi identificado na revisão de literatura das diferentes bases consultadas. O conceito de maturidade de gerenciamento de riscos, com a visão de maturidade das capacidades de uma organização, é bastante difundido e conhecido. Entretanto, um conceito integrativo de maturidade para um risco (individualmente) de forma abrangente não foi encontrado. Neste sentido, a forma de expressão do iRM, através do iRML também pode ser considerada no critério originalidade.

A integração dos quatro aspectos: conhecimento subjacente ao risco, maturidade do contexto tecnológico e de projeto, aspectos da psicologia e socioculturais de tomadas de decisão, e aspectos organizacionais (contexto) em

uma única construção conceitual não foi encontrada na revisão de literatura realizada.

Outra contribuição desenvolvida neste trabalho é o conceito $IP E_{viés}$ e a sua forma de obtenção indireta através do julgamento de características específicas, relacionadas à identificação e análise do risco. O objetivo de descaracterizar a forma de medida ou expressão desse indicador de outras formas quantitativas axiomatizadas (e.g., uso de probabilidade) é prover claramente o caráter subjetivo (semiquantitativo) dessa medida.

O modelo proposto do TM&MCML com o relacionamento dos aspectos de TRL, R&D³ e CML para formar uma medida integrada também não foi encontrado na literatura, apesar da ideia de ponderar a maturidade tecnológica pelo esforço necessário de R&D ser comumente relacionada, mas utilizando outras FOMs como o AD².

11.2 Generalidade

A generalidade da pesquisa realizada abrange conceitos e teorias desde os aspectos fundamentais e discussões filosóficas sobre risco, conhecimento (epistemologia), vertentes filosóficas (construtivismo, realismo), dos conceitos fundamentais da disciplina Análise de Riscos até elementos específicos da área espacial como o R&D³ e particularidades do desenvolvimento de sistemas espaciais.

A generalidade do método proposto (resultado) neste trabalho é observada quanto ao método utilizado no desenvolvimento da pesquisa. A partir da revisão histórica sobre risco e os fundamentos basilares (discussões filosóficas e conflitos conceituais) que suportam a discussão do assunto em diferentes áreas do conhecimento, foi possível a construção conceitual que fundamenta o método proposto. A construção do método, utilizando uma perspectiva *top-down*, no sentido de generalidades para especificidades, resultou em artefatos e construções conceituais que permitem a aplicabilidade do método e seus elementos em outros domínios.

A generalidade do método proposto está refletida nos elementos genéricos definidos para sua composição, que estão relacionados às características dos riscos e seu contexto de uma forma generalizada. A abordagem iRML em escala, utilizando a descrição geral para cada nível poderia ser utilizada para diversas aplicações que envolvem a análise de riscos.

11.3 Aplicabilidade

A aplicação principal do método desenvolvido é a fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais, contexto caracterizado por grandes incertezas (*deep uncertainty*) em que os métodos formais e quantitativos, assim como as estratégias preditivas para análise de riscos tem aplicação limitada. Entretanto, os resultados obtidos na pesquisa têm aplicabilidade para outros contextos.

As definições de conceitos (e.g., risco, incerteza e outros) adotados no método de avaliação de maturidade de um risco, com a aplicação do iRM e iRML, podem estar descorrelacionados aos conceitos utilizados em uma aplicação específica (e.g., ambiente de engenharia simultânea ou projeto específico). Essa independência conceitual do método proposto, através da não correlação com o método adotado no contexto de aplicação, permite a utilização dos conceitos, processos e ferramentas gerados como produtos dessa pesquisa em qualquer contexto que não refute a visão subjetiva de risco.

O método proposto supera algumas dificuldades apontadas na literatura quanto a aplicação de metodologias formais em contextos de grande incerteza, portanto, é aplicável para esta natureza de contextos.

11.4 Trabalhos futuros

Na visão do *Design Science Research*, método que fundamenta a pesquisa realizada, a construção de artefatos voltados para resolver problemas específicos e complexos possuem ciclos de melhoria e aprimoramentos. Neste sentido, trabalhos futuros a partir dos resultados apresentados neste Tese são:

- Aplicação do método (processo adaptado) em um estudo corrente;
- Investigar a aplicação da teoria de heurísticas e vieses *fast and frugal heuristics* (MOUSAVI; GIGERENZER, 2017) e outros métodos, como o método TODIM (LEONETI; GOMES, 2021);
- Investigar a aplicação de outros métodos de seleção de pesos alternativamente aos métodos DIRECT e SMARTER para formação do índice do iRML híbrido, como o método FITTRADEOFF (DE ALMEIDA et al., 2016);
- Investigar a possibilidade de avaliação de elementos adicionais do modelo de percepção de risco ou mudança para modelos mentais (COOPER, 2011);
- Investigar o comportamento ao risco e vieses para um grupo de pessoas (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2018);
- Investigar o relacionamento entre os conceitos de SoK e WoE;
- Investigar a modificação do método para absorver julgamentos de um grupo de especialistas;

Conclui-se que o objetivo geral e objetivos específicos foram atendidos com o desenvolvimento teórico e experimental do método (artefato) proposto e todos os elementos que o compõe, o conceito iRM, as formas de expressão iRML (híbrido e descritivas), processos: genérico, detalhado e específico (CPRIME), e as conclusões obtidas do estudo de caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, B. S. Compatible weighting method with rank order centroid: maximum entropy ordered weighted averaging approach. **European Journal of Operational Research**, v. 212, n. 3, p. 552–559, 2011.
- ALEXY, M.; GEORGANTZIS, N.; KÁČER, M.; PÉLIOVÁ, J. Risk attitude elicitation methods: do they tell similar stories? **Ekonomicky Casopis**, v. 69, n.9, p.847-877, 2016.
- ALHAKAMI, A. S.; SLOVIC, P. A Psychological study of the inverse relationship between perceived risk and perceived benefit. **Risk Analysis**, v. 14, n. 6, p. 1085–1096, 1994.
- ALTHAUS, C. E. A disciplinary perspective on the epistemological status of risk. **Risk Analysis**, v. 25, n. 3, p. 567–88, 2005.
- AMUNDRUD, Ø.; AVEN, T. On how to understand and acknowledge risk. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 42–47, 2015.
- ANDERSEN, S.; HARRISON, G. W.; LAU, M. I.; ELISABET RUTSTRÖM, E. LOST IN STATE SPACE: ARE PREFERENCES STABLE?. **International Economic Review**, v. 49, n. 3, p. 1091–1112, 2008.
- APELAND, S.; AVEN, T.; NILSEN, T. Quantifying uncertainty under a predictive, epistemic approach to risk analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 75, n. 1, p. 93–102, 2002.
- APPELT, K. C.; MILCH, K. F.; HANDGRAAF, M. J. J.; WEBER, E. U. The decision making individual differences inventory and guidelines for the study of individual differences in judgment and decision-making research. **Judgment and Decision Making**, v. 6, n. 3, p. 252–262, 2011.
- ASKELAND, T.; FLAGE, R.; AVEN, T. Moving beyond probabilities: strength of knowledge characterisations applied to security. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 159, p. 196–205, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 31000: gestão de riscos - princípios e diretrizes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- AUSTIN, A.; MILLER, R.; MURPHY, J.; KOLAR, M.; BLOSSOM, J.; PHAN, T.-A.; DOUDRICK, S.; HOGSTROM, K.; MARINAN, A. Rapid SmallSat Mission formulation: integrated and concurrent modeling in JPL's Team Xc. In: 2020 IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2020. **Proceedings...** IEEE, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9172523/>>.
- AVEN, T. A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 93, n. 6, p. 790–797,

2008.

AVEN, T. On how to define, understand and describe risk. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 6, p. 623–631, 2010.

AVEN, T. On the new ISO guide on risk management terminology. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 7, p. 719–726, 2011.

AVEN, T. **Foundations of risk analysis**. 2. ed. Chichester, UK: Wiley, 2012a. 224 p. ISBN(9781119945789).

AVEN, T. The risk concept—historical and recent development trends. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 99, p. 33–44, 2012b.

AVEN, T. Practical implications of the new risk perspectives. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 115, p. 136–145, 2013a.

AVEN, T. A conceptual framework for linking risk and the elements of the data–information–knowledge–wisdom (DIKW) hierarchy. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 111, p. 30–36, 2013b.

AVEN, T. On how to deal with deep uncertainties in a risk assessment and management context. **Risk Analysis**, v. 33, n. 12, p. 2082–2091, 2013c.

AVEN, T. On the use of conservatism in risk assessments. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 146, p. 33–38, 2016a.

AVEN, T. Supplementing quantitative risk assessments with a stage addressing the risk understanding of the decision maker. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 152, p. 51–57, 2016b.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016c.

AVEN, T. Improving risk characterisations in practical situations by highlighting knowledge aspects, with applications to risk matrices. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 167, p. 42–48, 2017a.

AVEN, T. How some types of risk assessments can support resilience analysis and management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 167, p. 536–543, 2017b.

AVEN, T. An emerging new risk analysis science: foundations and implications. **Risk Analysis**, v. 38, n. 5, p. 876–888, 2018a.

AVEN, T. Perspectives on the nexus between good risk communication and high scientific risk analysis quality. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 178, p. 290–296, 2018b.

AVEN, T. Reflections on the use of conceptual research in risk analysis. **Risk Analysis**, v. 38, n. 11, p. 2415–2423, 2018c.

AVEN, T. How the integration of System 1-System 2 thinking and recent risk perspectives can improve risk assessment and management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 180, p. 237–244, 2018d.

AVEN, T. **The science of risk analysis: foundation and practice**. London, UK: Routledge, 2019a. 330 p. ISBN(9780429029189).

AVEN, T. The call for a shift from risk to resilience: what does it mean? **Risk Analysis**, v. 39, n. 6, p. 1196–1203, 2019b.

AVEN, T. A risk science perspective on the discussion concerning Safety I, Safety II and Safety III. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 217, p. 108077, 2022.

AVEN, T.; FLAGE, R. Foundational challenges for advancing the field and discipline of risk analysis. **Risk Analysis**, v. 40, n. S1, p. 2128–2136, 2020.

AVEN, T.; KRISTENSEN, V. How the distinction between general knowledge and specific knowledge can improve the foundation and practice of risk assessment and risk-informed decision-making. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 191, e106553, 2019.

AVEN, T.; KROHN, B. S. A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 121, p. 1–10, 2014.

AVEN, T.; KVALØY, J. T. Implementing the bayesian paradigm in risk analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 78, n. 2, p. 195–201, 2002.

AVEN, T.; RENIERS, G. How to define and interpret a probability in a risk and safety setting. **Safety Science**, v. 51, n. 1, p. 223–231, 2013.

AVEN, T.; RENN, O.; ROSA, E. A. On the ontological status of the concept of risk. **Safety Science**, v. 49, n. 8–9, p. 1074–1079, 2011.

AVEN, T.; YLÖNEN, M. The strong power of standards in the safety and risk fields: a threat to proper developments of these fields? **Reliability Engineering & System Safety**, v. 189, p. 279–286, 2019.

AVEN, T.; ZIO, E. Foundational issues in risk assessment and risk management. **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1164–1172, 2014.

BABUSCIA, A.; CHEUNG, K.-M. Statistical risk estimation for communication system design. **IEEE Systems Journal**, v. 7, n. 1, p. 125–136, 2013.

BABUSCIA, A.; CHEUNG, K.-M. An approach to perform expert elicitation for engineering design risk analysis: methodology and experimental results.

Journal of the Royal Statistical Society. Series A (Statistics in Society), v. 177, n. 2, p. 475–497, 2014.

BACH, D. R.; HULME, O.; PENNY, W. D.; DOLAN, R. J. The known unknowns: neural representation of second-order uncertainty, and ambiguity. **Journal of Neuroscience**, v. 31, n. 13, p. 4811–4820, 2011.

BALINT, T.; HORÁNYI, M.; TURNER, N. **Broadening JPL's mission formulation paradigm with human centered design**. Root, 2020. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/2014/53271>>.

BALLOU, D.; WANG, R.; PAZER, H.; KUMAR.TAYI, G. Modeling information manufacturing systems to determine information product quality. **Management Science**, v. 44, n. 4, p. 462–484, 1998.

BANI-MUSTAFA, T.; PEDRONI, N.; ZIO, E.; VASSEUR, D.; BEAUDOUIN, F. A hierarchical tree-based decision-making approach for assessing the relative trustworthiness of risk assessment models. **Journal of Risk and Reliability**, v. 234, n. 6, p. 748–763, 2020a.

BANI-MUSTAFA, T.; ZENG, Z.; ZIO, E.; VASSEUR, D. A new framework for multi-hazards risk aggregation. **Safety Science**, v. 121, p. 283–302, 2020b.

BANI-MUSTAFA, T.; ZENG, Z.; ZIO, E.; VASSEUR, D. A practical approach for evaluating the strength of knowledge supporting risk assessment models. **Safety Science**, v. 124, n. 104596, p. 1–17, 2020c.

BARON, J. **Thinking and deciding**. 4. ed. [S.l.]: Cambridge University Press, 2006.

BARON, J.; HERSHEY, J. C. Outcome bias in decision evaluation. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 54, n. 4, p. 569–579, 1988.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. The efficacy of SMARTER: Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking. **Acta Psychologica**, v. 93, n. 1, p. 23–36, 1996a.

BARRON, F. H.; BARRETT, B. E. Decision quality using ranked attribute weights. **Management Science**, v. 42, n. 11, p. 1515–1523, 1996b.

BATEMAN, B. W. Keynes's changing conception of probability. **Economics and Philosophy**, v. 3, n. 1, p. 97–119, 1987.

BAZERMAN, M. H.; MOORE, D. A. Introduction to managerial decision making. In: _____ (Ed.). **Judgment in managerial decision making**. 8.ed. [S.l.]: Wiley, 2012a. p. 1–13.

BAZERMAN, M. H.; MOORE, D. A. Common biases. In: _____ (Ed.). **Judgment in managerial decision making**. 8.ed. [S.l.]: Wiley, 2012b. p. 31–59.

- BAZERMAN, M. H.; MOORE, D. A. Overconfidence. In: _____ (Ed.). **Judgment in managerial decision making**. 8.ed. [S.I.]: John Wiley & Sons, 2012c. p. 288.
- BECHARA, A.; DAMASIO, A. R.; DAMASIO, H.; ANDERSON, S. W. Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. **Cognition**, v. 50, n. 1–3, p. 7–15, 1994.
- BECKER, S. W.; BROWNSON, F. O. What price ambiguity? or the role of ambiguity in decision-making. **Journal of Political Economy**, v. 72, n. 1, p. 62–73, 1964.
- BELL, D. E. Regret in decision making under uncertainty. **Operations Research**, v. 30, n. 5, p. 961–981, 1982.
- BEN-HAIM, Y. Overview. In: _____(Ed.). **Info-gap decision theory**. Oxford: Elsevier, 2006. p. 1–8.
- BENTHAM, J. **An introduction to the principals of morals and legislation**. London, UK: T. Payne and Son, 1780. 335 p.
- BERNER, C.; FLAGE, R. Strengthening quantitative risk assessments by systematic treatment of uncertain assumptions. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 151, p. 46–59, 2016a.
- BERNER, C. L.; FLAGE, R. Comparing and integrating the NUSAP notational scheme with an uncertainty based risk perspective. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 156, p. 185–194, 2016b.
- BERNER, C. L.; FLAGE, R. Creating risk management strategies based on uncertain assumptions and aspects from assumption-based planning. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 167, p. 10–19, 2017.
- BERNOULLI, D. Exposition of a new theory on the measurement of risk. **Econometrica**, v. 22, n. 1, p. 23–36, 1954.
- BERNSTEIN, P. L. **Against the gods: the remarkable story of risk**. New York, EUA: Wiley, 1998. 383 p. ISBN(9780471295631).
- BEST, H.; WOLF, C. Logistic regression. In: _____ (Ed.). **The SAGE handbook of regression analysis and causal inference**. [S.I.]: SAGE Publications, 2014. p. 153–157.
- BILBRO, J. W. **Systematic assessment of the program/project impacts of technological advancement and insertion**. [S.I.: s.n.], 2007.
- BILBRO, J. W.; YANG, K. Y. A comprehensive overview of techniques for measuring system readiness. In: NDIA ANNUAL SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE, 12., 2009, San Diego, CA. **Proceedings...** San Diego, CA: 2009. Disponível em:

<<https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2009/systemengr/8891WednesdayTrack3Bilbro.pdf>>.

BINSWANGER, H. P. Attitudes toward risk: theoretical implications of an experiment in rural India. **The Economic Journal**, v. 91, n. 364, p. 867, 1981.

BITTEN, R. E.; FREANER, C. W.; EMMONS, D. L. Optimism in early conceptual designs and its effect on cost and schedule growth: an update. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2010. **Proceedings...** IEEE, 2010.

BITTEN, R.; EMMONS, D.; BORDI, F.; SCOLESE, C. Explanation of change (EoC) study: approach and findings. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2013a. **Proceedings...** IEEE, 2013.

BITTEN, R.; EMMONS, D.; HART, M.; BORDI, F.; SCOLESE, C.; HINNERS, N. Explanation of change (EoC) study: considerations and implementation challenges. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2013b. **Proceedings...** IEEE, 2013.

BJERGA, T.; AVEN, T. Adaptive risk management using new risk perspectives – an example from the oil and gas industry. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 134, p. 75–82, 2015.

BJÖRNSDÓTTIR, S. H.; JENSSON, P.; BOER, R. J.; THORSTEINSSON, S. E. The importance of risk management: what is missing in ISO standards? **Risk Analysis**, v. 42, n. 4, p. 659–691, 2022.

BLAIS, A.-R.; WEBER, E. U. A Domain-Specific Risk-Taking (DOSPRT) scale for adult populations. **Judgment and Decision Making**, v. 1, n. 1, p. 33–47, 2006.

BORCHERDING, K.; SCHMEER, S.; WEBER, M. Biases in multiattribute weight elicitation. In: CAVERNI, J. P.; BAR-HILLEL, M.; BARRON, F. H.; JUNGERMANN, H. (Ed.). **Contributions to decisions making - I**. Amsterdam: Elsevier Science, 1995. p. 3–28.

BORGES, S. F. S.; BELDERRAIN, M. C. N.; CARDOSO JUNIOR, M. M.; CASTILHO, D. S. Integration of risk analysis methods in aerospace research projects. **Independent Journal of Management & Production**, v. 13, n. 1, p. 291–320, 2022.

BORGONOVO, E.; CAPPELLI, V.; MACCHERONI, F.; MARINACCI, M. Risk analysis and decision theory: a bridge. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 1, p. 280–293, 2018.

BOSTROM, A.; FISCHHOFF, B.; MORGAN, M. G. Characterizing mental models of hazardous processes: a methodology and an application to radon. **Journal of Social Issues**, v. 48, n. 4, p. 85–100, 1992.

BOTTOMLEY, P. A.; DOYLE, J. R. A comparison of three weight elicitation

methods: good, better, and best. **Omega**, v. 29, n. 6, p. 553–560, 2001.

BOTTOMLEY, P. A.; DOYLE, J. R.; GREEN, R. H. Testing the reliability of weight elicitation methods: direct rating versus point allocation. **Journal of Marketing Research**, v. 37, n. 4, p. 508–513, 2000.

BRACHA, A.; BROWN, D. J. Affective decision making: A theory of optimism bias. **Games and Economic Behavior**, v. 75, n. 1, p. 67–80, 2012.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 13.709 de 14 de agosto de 2018**: Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm.

BREAKWELL, G. M. The echo of power: a framework for social psychological research (The Myers Lecture). **The Psychologist**, v. 7, n. 2, p. 65–72, 1994.

BREHM, J.; RAHN, W. Individual-level evidence for the causes and consequences of social capital. **American Journal of Political Science**, v. 41, n. 3, p. 999–1023, 1997.

BUEHLER, R.; GRIFFIN, D.; ROSS, M. Exploring the “planning fallacy”: why people underestimate their task completion times. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 67, n. 3, p. 366–381, 1994.

BUEHLER, R.; GRIFFIN, D.; ROSS, M. Inside the planning fallacy: the causes and consequences of optimistic time predictions. In: GILOVICH, T.; GRIFFIN, D.; KAHNEMAN, D. (Ed.). **Heuristics and biases: the psychology of intuitive judgment**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2002. p. 250–270.

BURATTI, S.; ALLWOOD, C. M. The effect of knowledge and ignorance assessments on perceived risk. **Journal of Risk Research**, v. 22, n. 6, p. 735–748, 2019.

BURNS, W.; SLOVIC, P.; KASPERSON, R.; KASPERSON, J.; RENN, O.; EMANI, S. **Social amplification of risk: an empirical study**. United States, 1990. Disponível em: http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:22064252.

CACIOPPO, J. T.; PETTY, R. E. The need for cognition. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 42, n. 1, p. 116–131, 1982.

CAMERER, C.; WEBER, M. Recent developments in modeling preferences: uncertainty and ambiguity. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 5, n. 4, p. 325–370, 1992.

CANO, S.; SALZBERGER, T. Measuring risk perception BT - consumer perception of product risks and benefits. In: EMILIEN, G.; WEITKUNAT, R.; LÜDICKE, F. (Ed.). Cham: Springer, 2017. p. 191–200.

CAPUTO, A. A literature review of cognitive biases in negotiation processes.

International Journal of Conflict Management, v. 24, n. 4, p. 374–398, 2013.

CASE, K.; NASH, A.; AUSTIN, A.; MURPHY, J. The evolution of Team-X: 25 years of concurrent engineering design experience. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2021. **Proceedings...** 2021.

CHAGAS, R. A.; DE SOUSA, F. L.; LOURO, A. C.; DOS SANTOS, W. G. Modeling and design of a multidisciplinary simulator of the concept of operations for space mission pre-phase A studies. **Concurrent Engineering**, v. 27, n. 1, p. 28–39, 2019.

CHAPMAN, G. B.; JOHNSON, E. J. Anchoring, activation, and the construction of values. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 79, n. 2, p. 115–153, 1999.

CHARNESS, G.; GARCIA, T.; OFFERMAN, T.; VILLEVAL, M. C. Do measures of risk attitude in the laboratory predict behavior under risk in and outside of the laboratory? **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 60, n. 2, p. 99–123, 2020.

CHARNESS, G.; GNEEZY, U.; IMAS, A. Experimental methods: eliciting risk preferences. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 87, p. 43–51, 2013.

CHAUVIN, B. Individual differences in the judgment of risks: sociodemographic characteristics, cultural orientation, and level of expertise BT .In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 37–61.

CHEN, S.; LIAO, Z.; REDD, T.; WU, S. Laotian entrepreneurs' optimism and new venture performance. **Social Behavior and Personality: An International Journal**, v. 41, n. 8, p. 1267–1278, 2013.

CHOO, E. U.; WEDLEY, W. C. Comparing fundamentals of additive and multiplicative aggregation in ratio scale multi-criteria decision making. **The Open Operational Research Journal**, v. 2, n. 1, p. 1–7, 2008.

COOMBS, C. H. Portfolio theory and the measurement of risk. In: KAPLAN, M. F.; SCHWARTZ, S. (Ed.). **Human judgment and decision processes**. New York: Academic Press, 1975. p. 63–85.

COOPER, L. P. **How project teams conceive of and manage pre-quantitative risk**. 2008. 178 p. Viterbi School of Engineering, 2008. Disponível em: <<http://digitalibrary.usc.edu/cdm/ref/collection/p15799coll127/id/96907>>.

COOPER, L. P. A team mental model perspective of pre-quantitative risk. In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 44., 2011. **Proceedings...** 2011.

CORNFORD, S. L.; FEATHER, M. S.; HICKS, K. A. DDP-a tool for life-cycle

risk management. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE PROCEEDINGS, 2001. **Proceedings...** 2001.

COSTA, L. L.; DE SOUSA, F. L. Abordagens de análise de risco no CPRIME. In: WORKSHOP EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS (WETE), 9., 2018, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em: <<http://mtc-m21c.sid.inpe.br/rep/8JMKD3MGP3W34R/435FM82>>.

COURTNEY, H.; KIRKLAND, J.; VIGUERIE, P. Strategy under uncertainty. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 6, p. 67–79, 1997.

COVELLO, V. T. The perception of technological risks: a literature review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 23, n. 4, p. 285–297, 1983.

COVELLO, V. T.; MUMPOWER, J. Risk analysis and risk management: an historical perspective. **Risk Analysis**, v. 5, n. 2, p. 103–120, 1985.

COX JR, L. A. What's wrong with risk matrices? **Risk Analysis**, v. 28, n. 2, p. 497–512, 2008.

COX, L. A. T. Confronting deep uncertainties in risk analysis. **Risk Analysis**, v. 32, n. 10, p. 1607–1629, 2012.

CUMMING, R. B. Is risk assessment a science? **Risk Analysis**, v. 1, n. 1, p. 1–3, 1981.

CUPPEN, E.; NIKOLIC, I.; KWAKKEL, J.; QUIST, J. Participatory multi-modelling as the creation of a boundary object ecology: the case of future energy infrastructures in the Rotterdam Port Industrial Cluster. **Sustainability Science**, v. 16, n. 3, p. 901–918, 2021.

CURLEY, S. P.; YATES, J. F.; ABRAMS, R. A. Psychological sources of ambiguity avoidance. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 38, n. 2, p. 230–256, 1986.

DAWES, R. M.; CORRIGAN, B. Linear models in decision making. **Psychological Bulletin**, v. 81, n. 2, p. 95–106, 1974.

DE ALMEIDA, A. T.; ALENCAR, M. H.; GARCEZ, T. V.; FERREIRA, R. J. P. A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management. **IMA Journal of Management Mathematics**, v. 28, n. 2, p. 153–184, 2017.

DE ALMEIDA, A. T.; DE ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179–191, 2016.

DE ELÍA, R.; LAPRISE, R. Diversity in interpretations of probability: implications for weather forecasting. **Monthly Weather Review**, v. 133, n. 5, p. 1129–1143, 2005.

DE FINETTI, B. La prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives. **Annales de l'Institut Henri Poincaré**, v. 17, p. 1–68, 1937.

DE FINETTI, B. Foresight: its logical laws, its subjective sources BT - In: KOTZ, S.; JOHNSON, N. L. (Ed.). **Breakthroughs in statistics: foundations and basic theory**. New York, NY: Springer, 1992. p. 134–174.

DE KONING, H. P.; GERENÉ, S.; FERREIRA, I.; PICKERING, A.; BEYER, F.; VENNEKENS, J. Open concurrent design tool - ESA community open source - ready to go. In: SECESA, 2014. **Proceedings...** 2014.

DENG, H.; YEH, C.-H.; WILLIS, R. J. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 10, p. 963–973, 2000.

DILLON, R. L.; KLEIN, G. A.; ROGERS, E. W.; SCOLESE, C. J. Improving the use of risk matrices at NASA. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2018. **Proceedings...** IEEE, 2018.

DILLON, R. L.; TINSLEY, C. H.; ROGERS, E. W. Using organizational messages to improve the recognition of near-miss events on projects. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2014. **Proceedings...** IEEE, 2014.

DIMOV, C. M.; MAREWSKI, J. N. Cognitive architectures as scaffolding for risky choice models. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 201–216.

DOHMEN, T.; FALK, A. Performance pay and multidimensional sorting: productivity, preferences, and gender. **American Economic Review**, v. 101, n. 2, p. 556–590, 2011.

DOHMEN, T.; HUFFMAN, D.; SCHUPP, J.; FALK, A.; SUNDE, U.; WAGNER, G. G. Individual risk attitudes: measurement, determinants, and behavioral consequences. **Journal of the European Economic Association**, v. 9, n. 3, p. 522–550, 2011.

DOYLE, J. R.; GREEN, R. H.; BOTTOMLEY, P. A. Judging relative importance: direct rating and point allocation are not equivalent. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 70, n. 1, p. 65–72, 1997.

DREBER, A.; APICELLA, C. L.; EISENBERG, D. T. A.; GARCIA, J. R.; ZAMORE, R. S.; LUM, J. K.; CAMPBELL, B. The 7R polymorphism in the dopamine receptor D4 gene (DRD4) is associated with financial risk taking in men. **Evolution and Human Behavior**, v. 30, n. 2, p. 85–92, 2009.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design science research**. Cham: Springer, 2015. p. 67–102.

DUBOIS, D.; PRADE, H. Possibility theory, probability theory and multiple-valued logics: a clarification. **Annals of Mathematics and Artificial Intelligence**, v. 32, n. 1, p. 35–66, 2001.

DUIJM, N. J. Recommendations on the use and design of risk matrices. **Safety Science**, v. 76, p. 21–31, 2015.

EAGLE, A. Chance versus randomness. In: ZALTA, E. N. (Ed.). **The Stanford encyclopedia of philosophy**. 2.ed. [S.l.]: Stanford University, 2021.

ECKEL, C. C.; GROSSMAN, P. J. Forecasting risk attitudes: an experimental study using actual and forecast gamble choices. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 68, n. 1, p. 1–17, 2008.

EDWARDS, W. How to use multiattribute utility measurement for social decisionmaking. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 326–340, 1977.

EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 60, n. 3, p. 306–325, 1994.

EINHORN, H. J.; HOGARTH, R. M. Unit weighting schemes for decision making. **Organizational Behavior and Human Performance**, v. 13, n. 2, p. 171–192, 1975.

EINHORN, H. J.; HOGARTH, R. M. Ambiguity and uncertainty in probabilistic inference. **Psychological Review**, v. 92, n. 4, p. 433–461, 1985.

EINHORN, H. J.; HOGARTH, R. M. Decision making under ambiguity. **The Journal of Business**, v. 59, n. 4, p. S225–S250, 1986.

ELLSBERG, D. Risk, ambiguity, and the savage axioms. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 75, n. 4, p. 643–669, 1961.

EMMONS, D. L. **Risk identification and evaluation biases and a management framework for their mitigation for application in the aerospace sector**. The George Washington University, 2017. Disponível em: <<https://scholarspace.library.gwu.edu/etd/hd76s011c>>.

EMMONS, D.; MAZZUCHI, T.; SARKANI, S.; LARSEN, C. Mitigating cognitive biases in risk identification: practitioner checklist for the aerospace sector. **Defense Acquisition Research Journal**, v. 25, n. 1, p. 52–93, 2018.

EPLEY, N. A tale of tuned decks? anchoring as accessibility and anchoring as adjustment. In: KOEHLER, D. J.; HARVEY, N. (Ed.). **Blackwell handbook of judgment and decision making**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004. p. 240–257.

EPLEY, N.; GILOVICH, T. Putting adjustment back in the anchoring and adjustment heuristic: differential processing of self-generated and experimenter-provided anchors. **Psychological Science**, v. 12, n. 5, p. 391–396, 2001.

EPSTEIN, S. **Integration of the cognitive and the psychodynamic unconscious**. US: American Psychological Association, 1994.

ETNER, J.; JELEVA, M.; TALLON, J.-M. Decision theory under ambiguity. **Journal of Economic Surveys**, v. 26, n. 2, p. 234–270, 2012.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-80C space project management: risk management**. Noordwijk, The Netherlands, 2008.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-M-ST-10C Rev.1 space project management: project planning and implementation**. Noordwijk, The Netherlands, 2009.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-E-TM-10-25A 2010 engineering design model data exchange CDF**. , Noordwijk, The Netherlands, 2010.

EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION (ECSS). **ECSS-S-ST-00-01C glossary of terms**. Noordwijk, The Netherlands, 2012.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **CDF study report assessment of an x-ray telescope for the ESA cosmic vision program**. 2014. Disponível em: <<http://sci.esa.int/cosmic-vision/54013-athena-the-advanced-telescope-for-high-energy-astrophysics/>>.

EVANS, J. P. Taking the tiger by the tail: leading effective tiger teams and working groups on flight projects. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2016. **Proceedings...** IEEE, 2016.

FABISINSKI, L.; MAPLES, C. Risk rvaluation in the pre-phase a conceptual design of spacecraft. In: AIAA SPACE CONFERENCE & EXPOSITION, 2010, Reston, Virigina. **Proceedings...** Reston, Virigina: AIAA, 2010. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2010-8740>>.

FARHANG MEHR, A.; TUMER, I. Y. Risk-based decision-making for managing resources during the design of complex space exploration systems. **Journal of Mechanical Design**, v. 128, n. 4, p. 1014–1022, 2006.

FAULKNER, P.; FEDUZI, A.; RUNDE, J. Unknowns, black swans and the risk/uncertainty distinction. **Cambridge Journal of Economics**, v. 41, n. 5, p. 1279–1302, 2017.

FEATHER, M. S.; CORNFORD, S. L. Quantitative risk-based requirements reasoning. **Requirements Engineering**, v. 8, n. 4, p. 248–265, 2003.

- FEDUZI, A. On Keynes's conception of the weight of evidence. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 76, n. 2, p. 338–351, 2010.
- FEDUZI, A.; RUNDE, J. Uncovering unknown unknowns: towards a baconian approach to management decision-making. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 124, n. 2, p. 268–283, 2014.
- FEDUZI, A.; RUNDE, J.; ZAPPIA, C. De finetti on uncertainty. **Cambridge Journal of Economics**, v. 38, n. 1, p. 1–21, 2013.
- FERNANDEZ, J. A. **Contextual role of TRLs and MRLs in technology management**. Albuquerque, New Mexico. 2010. Disponível em: <<https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2010/107595.pdf>>.
- FERRER, R. A.; KLEIN, W. M. P.; PERSOSKIE, A.; AVISHAI-YITSHAK, A.; SHEERAN, P. The Tripartite Model of Risk Perception (TRIRISK): distinguishing deliberative, affective, and experiential components of perceived risk. **Annals of Behavioral Medicine**, v. 50, n. 5, p. 653–663, 2016.
- FIGNER, B.; MACKINLAY, R. J.; WILKENING, F.; WEBER, E. U. Affective and deliberative processes in risky choice: age differences in risk taking in the Columbia Card Task. **Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition**, v. 35, n. 3, p. 709–730, 2009.
- FIGNER, B.; WEBER, E. U. Who takes risks when and why?: determinants of risk taking. **Current Directions in Psychological Science**, v. 20, n. 4, p. 211–216, 2011.
- FILIPPI, G.; VASILE, M.; KRPELIK, D.; KORONDI, P. Z.; MARCHI, M.; POLONI, C. Space systems resilience optimisation under epistemic uncertainty. **Acta Astronautica**, v. 165, p. 195–210, 2019.
- FINUCANE, M. L.; ALHAKAMI, A.; SLOVIC, P.; JOHNSON, S. M. The affect heuristic in judgments of risks and benefits. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 13, n. 1, p. 1–17, 2000.
- FINUCANE, M. L.; PETERS, E.; SLOVIC, P. Judgment and decision making: the dance of affect and reason. In: SHANTEAU, J.; SCHNEIDER, S. L. (Ed.). **Emerging Perspectives on Judgment and Decision Research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. p. 327–364.
- FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S.; DERBY, S. L. **Acceptable risk**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1983. 185 p. ISBN(9780521278928).
- FISCHHOFF, B.; SLOVIC, P.; LICHTENSTEIN, S.; READ, S.; COMBS, B. How safe is safe enough? a psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. **Policy Sciences**, v. 9, n. 2, p. 127–152, 1978.
- FJAERAN, L.; AVEN, T. Creating conditions for critical trust: how an uncertainty-based risk perspective relates to dimensions and types of trust.

Safety Science, v. 133, p. 105008, 2021a.

FJAERAN, L.; AVEN, T. Making visible the less visible – how the use of an uncertainty-based risk perspective affects risk attenuation and risk amplification. **Journal of Risk Research**, v. 24, n. 6, p. 673–691, 2021b.

FLAGE, R.; ASKELAND, T. Assumptions in quantitative risk assessments: When explicit and when tacit? **Reliability Engineering & System Safety**, v. 197, p. 106799, 2020.

FLAGE, R.; AVEN, T. Expressing and communicating uncertainty in relation to quantitative risk analysis. **Reliability: Theory & Applications**, v. 4, n.13, p. 9–18, 2009.

FLYNN, J.; SLOVIC, P.; MERTZ, C. K. Gender, race, and perception of environmental health risks. **Risk Analysis**, v. 14, n. 6, p. 1101–1108, 1994.

FLYVBJERG, B. Delusions of success comment on Dan Lovallo and Daniel Kahneman (December 1, 2003). **Harvard Business Review**, v. 81, n. 12, p. 121–122, 2003.

FLYVBJERG, B. Curbing optimism bias and strategic misrepresentation in planning: reference class forecasting in practice. **European Planning Studies**, v. 16, n. 1, p. 3–21, 2008.

FLYVBJERG, B. Top ten behavioral biases in project management: an overview. **Project Management Journal**, v. 52, n. 6, p. 531–546, 2021.

FLYVBJERG, B.; GLENTING, C.; RØNNEST, A. K. **Procedures for dealing with optimism bias in transport planning: guidance document**. [S.I.]: UK Department for Transport, 2004.

FLYVBJERG, B.; SKAMRIS HOLM, M. K.; BUHL, S. L. How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? **Transport Reviews**, v. 23, n. 1, p. 71–88, 2003.

FORREST, D. W. **Francis Galton: the life and work of a victorian genius**. Oxford, UK: Taplinger, 1974. 340 p.

FOWLER JUNIOR, F. J. **Survey research methods**. 5.ed. [S.I.]: SAGE Publications, 2013. 184 p.

FOX, C. R.; TANNENBAUM, D. The elusive search for stable risk preferences. **Frontiers in psychology**, v. 2, p. 298, 2011.

FRANTZ, R. H. S. Artificial intelligence as a framework for understanding intuition. **Journal of Economic Psychology**, v. 24, n. 2, p. 265–277, 2003.

FRERKING, M. A.; BEAUCHAMP, P. M. JPL technology readiness assessment guideline. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2016, Big Sky, Montana.

Proceedings... IEEE, 2016. Disponível em:
<<https://trs.jpl.nasa.gov/handle/2014/46024>>.

FREUDENBURG, W. R. Perceived risk, real risk: social science and the art of probabilistic risk assessment. **Science**, v. 242, n. 4875, p. 44–49, 1988.

FREY, R.; PEDRONI, A.; MATA, R.; RIESKAMP, J.; HERTWIG, R. Risk preference shares the psychometric structure of major psychological traits. **Science Advances**, v. 3, n. 10, 2017.

FRISCH, D.; BARON, J. Ambiguity and rationality. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 1, n. 3, p. 149–157, 1988.

GADD, S.; KEELEY, D.; BALMFORTH, H. **Good practice and pitfalls In risk assessment**. Sheffield UK, 2003. Disponível em:
<<https://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr151.htm>>.

GADZINSKI, G.; CASTELLO, A. Fast and frugal heuristics augmented: when machine learning quantifies Bayesian uncertainty. **Journal of Behavioral and Experimental Finance**, v. 26, p. 100293, 2020.

GALAVOTTI, M. C. The modern epistemic interpretations of probability: logicism and subjectivism. **Handbook of the History of Logic**, v. 10, p. 153–203, 2000.

GALAVOTTI, M. C. The interpretation of probability: still an open issue? 1. **Philosophies**, v. 2, n. 4, p. 20, 2017.

GALIZZI, M. M.; NAVARRO-MARTINEZ, D. On the external validity of social preference games: a systematic lab-field study. **Management Science**, v. 65, n. 3, p. 976–1002, 2019.

GAN, X.; FERNANDEZ, I. C.; GUO, J.; WILSON, M.; ZHAO, Y.; ZHOU, B.; WU, J. When to use what: methods for weighting and aggregating sustainability indicators. **Ecological Indicators**, v. 81, p. 491–502, 2017.

GENARO, A. F. S. **Proposta de um modelo de avaliação da capacidade e maturidade de sistemas de gestão integrada (STKM3) utilizando a abordagem da gestão de stakeholders**. 2014. 333 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais - Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2013/09.26.14.25.22/doc/mirrorget.cgi?metadataarepository=sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/10.24.17.02.12&choice=full&languagebutton=en>>.

GIGERENZER, G. How to make cognitive illusions disappear: beyond “heuristics and biases”. **European Review of Social Psychology**, v. 2, n. 1, p. 83–115, 1991.

GIGERENZER, G.; HERTWIG, R.; PACHUR, T. (Ed.). **Heuristics: the**

foundations of adaptive behavior. [S.l.]: Oxford University Press, 2011. ISBN(9780199744282).

GILBERT, D. T. Inferential correction. In: GILOVICH, T.; GRIFFIN, D.; KAHNEMAN, D. (Ed.). **Heuristics and biases: the psychology of intuitive judgment.** [S.l.]: Cambridge University Press, 2002. p. 167–184.

GLETTTE-IVERSEN, I.; AVEN, T. On the meaning of and relationship between dragon-kings, black swans and related concepts. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 211, p. 107625, 2021.

GNEEZY, U.; POTTERS, J. An experiment on risk taking and evaluation periods. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 112, n. 2, p. 631–645, 1997.

GOBBI, D. **Missão Satelital EQUARS - documentação do evento PRR.** São José dos Campos: INPE, 2020. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34R/42SAJRB>>.

GOERLANDT, F.; MONTEWKA, J. Preference risk assessment of hazardous substances road transportation. In: NOWAKOWSKI, T.; MLYNCZAK, M. (Ed.). **Safety and reliability: methodology and applications.** [S.l.]: CRC Press, 2014. p. 1707–1712.

GOERLANDT, F.; MONTEWKA, J. Review of risk concepts and perspectives in risk assessment of maritime transportation. In: NOWAKOWSKI, T.; MTYNCZAK, M.; JODEJKO-PIETRUCZUK, A.; WERBINSKA-WOJCIECHOWSKA, S. (Ed.). **Safety and reliability: methodology and applications.** London: Taylor & Francis Group, 2015a. p. 1547–1554.

GOERLANDT, F.; MONTEWKA, J. Maritime transportation risk analysis: review and analysis in light of some foundational issues. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 138, p. 115–134, 2015b.

GOERLANDT, F.; RENIERS, G. On the assessment of uncertainty in risk diagrams. **Safety Science**, v. 84, p. 67–77, 2016.

GOERLANDT, F.; RENIERS, G. An approach for reconciling different perspectives and stakeholder views on risk ranking. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 1219–1232, 2017.

GOERLANDT, F.; RENIERS, G. Prediction in a risk analysis context: implications for selecting a risk perspective in practical applications. **Safety Science**, v. 101, p. 344–351, 2018.

GOULD, K. P. Organizational risk: “muddling through” 40 years of research. **Risk Analysis**, v. 41, n. 3, p. 456–465, 2021.

GRÄSSLER, I.; WIECHEL, D.; ROESMANN, D.; THIELE, H. V-model based development of cyber-physical systems and cyber-physical production systems. **Procedia CIRP**, v. 100, p. 253–258, 2021.

- GRECO, S.; EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J. R. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 2016. 1347 p. ISBN(978-1-4939-3094-4).
- GRENYER, A.; ERKOYUNCU, J. A.; ZHAO, Y.; ROY, R. A systematic review of multivariate uncertainty quantification for engineering systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 33, p. 188–208, 2021.
- HACKING, I. **The emergence of probability: a philosophical study of early ideas about probability, induction, and statistical inference**. 2.ed. New York, EUA: Cambridge University Press, 2006. 246 p. ISBN(978-0521685573).
- HANSSON, S. O. A philosophical perspective on risk. **Ambio**, v. 28, n. 6, p. 539–542, 1999.
- HANSSON, S. O. Risk: objective or subjective, facts or values. **Journal of Risk Research**, v. 13, n. 2, p. 231–238, 2010.
- HANSSON, S. O. A panorama of the philosophy of risk. In: ROESER, S.; HILLERBRAND, R.; SANDIN, P.; PETERSON, M. (Ed.). **Handbook of risk theory: epistemology, decision theory, ethics, and social implications of risk**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 27–54.
- HANSSON, S. O. **Risk**. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2018/entries/risk/>>. Acesso em: 28 maio. 2019.
- HANSSON, S. O.; AVEN, T. Is risk analysis scientific? **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1173–83, 2014.
- HARRISON, G. W.; JOHNSON, E.; MCINNES, M. M.; RUTSTRÖM, E. E. Temporal stability of estimates of risk aversion. **Applied Financial Economics Letters**, v. 1, n. 1, p. 31–35, 2005.
- HARRISON, G. W.; RUTSTRÖM, E. E. Risk aversion in the laboratory. In: COX, J. C.; HARRISON, G. W. (Ed.). **Risk aversion in experiments**. [S.l.]: Emerald, 2008. v. 12, p. 41–196.
- HARTZ, C.; ELROD, R. The role of optimism in the probabilistic assessment of risk: a second look at calibration of probabilities. **Human Systems Management**, v. 15, p. 79–83, 1996.
- HEATH, C.; TVERSKY, A. Preference and belief: ambiguity and competence in choice under uncertainty. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 4, n. 1, p. 5–28, 1991.
- HEINRICH, B.; HRISTOVA, D.; KLIER, M.; SCHILLER, A.; SZUBARTOWICZ, M. Requirements for data quality metrics. **Journal of Data and Information Quality**, v. 9, n. 2, 2018.

HERTWIG, R.; WULFF, D. U.; MATA, R. Three gaps and what they may mean for risk preference. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1766, p. 20180140, 2019.

HIGHHOUSE, S.; NYE, C. D.; ZHANG, D. C.; RADA, T. B. Structure of the dospert: is there evidence for a general risk factor? **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 30, n. 2, p. 400–406, 2017.

HIHN, J.; CHATTOPADHYAY, D.; HANNA, R.; PORT, D.; EGGLESTON, S. Identification and classification of common risks on space based science missions. In: AIAA SPACE CONFERENCE, 2010. **Proceedings...** AIAA, 2010.

HIHN, J.; CHATTOPADHYAY, D.; SHISHKO, R. Risk identification and visualisation in a concurrent engineering team environment. In: ISPA/SCEA, 2010, San Diego, CA. **Proceedings...** 2010.

HIHN, J.; CHATTOPADHYAY, D.; SHISHKO, R. Risk identification and scoring in early-lifecycle concurrent engineering teams. **Innovations in Systems and Software Engineering**, v. 8, n. 3, p. 213–221, 2012.

HIHN, J.; CHATTOPADHYAY, D.; VALERDI, R. How engineers really think about risk: a study of JPL engineers. In: ISPA/SCEA WORKSHOP, 2011, El Segundo, California. **Proceedings...** 2011. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120007994>>.

HIHN, J. M.; CHATTOPADHYAY, D. What makes hybrid concurrent engineering teams work and not work: a theoretical analysis. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2021. **Proceedings...** 2021.

HIHN, J.; RAMIREZ, M.; KOLAJIAN, A.; SAING, M.; TAKIDIN, M. Estimate early and estimate often: how your concurrent engineering design team can bootstrap your organizations programmatic capabilities. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2020. **Anais...** IEEE, 2020. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9172308/>>.

HILLSON, D. Towards a risk maturity model. **International Journal of Project & Business Risk Management**, v. 1, n. 1, p. 35–45, 1997.

HILLSON, D. **Managing risk in projects**. [S.l.]: Gower, 2009. ISBN(9780566088674).

HILLSON, D. How much risk is too much risk? Understanding risk appetite. In: PMI® GLOBAL CONGRESS, 2012, Vancouver, British Columbia, Canada. **Proceedings...** 2012. Disponível em: <<https://www.pmi.org/learning/library/much-risk-understanding-risk-appetite-6076>>.

HILLSON, D. **Understanding and managing risk attitude**. [S.l.]: Routledge, 2017. ISBN(9781315235448).

HILLSON, D.; MURRAY-WEBSTER, R. **Using risk appetite and risk attitude to support appropriate risk taking: a new taxonomy and model**. 2011.

Disponível em:

<https://epress.lib.uts.edu.au/journals/index.php/pppm/article/view/2188>.

HIRSHORN, S.; JEFFERIES, S. **Final report of the NASA Technology Readiness Assessment (TRA) study team**. 2016. Disponível em:

<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170005794>.

HOBDAY, M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, v. 26, n. 6, p. 689–710, 1998.

HOLT, C. A.; LAURY, S. K. Risk aversion and incentive effects. **The American Economic Review**, v. 92, n. 5, p. 1644–1655, 2002.

HSU, A. Y.; WEIR, A. **Technical risk identification at program inception**.

Chantilly, VA. 2014. Disponível em: <http://aerospace.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/04/TOR-2014-02201-Technical-Risk-Identification-at-Program-Inception.pdf>.

HUNZIKER, S. **Enterprise risk management: modern approaches to balancing risk and reward**. Wiesbaden: Springer, 2019. p. 17–48.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CPRIME - Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais**. São José dos Campos: INPE, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Portaria nº 3376/2017/SEI-INPE - Dispõe sobre a Política de Gestão de Riscos do INPE**. São José dos Campos: INPE, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Manual para elaboração, formatação e submissão de teses, dissertações e outros trabalhos do INPE**. São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP8W/PGU542>.

IRIZAR, J.; WYNN, M. G. A new maturity model for project risk management in the automotive industry. **International Journal of Risk and Contingency Management**, v. 7, n. 3, p. 53–72, 2018.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE). **INCOSE systems engineering handbook**. San Diego, CA: INCOSE, 2011.

Disponível em:

[http://smslab.kaist.ac.kr/Course/CC532/2012/LectureNote/2012/INCOSE Systems Engineering Handbook v3.1 5-Sep-2007.pdf](http://smslab.kaist.ac.kr/Course/CC532/2012/LectureNote/2012/INCOSE%20Systems%20Engineering%20Handbook%20v3.1%205-Sep-2007.pdf).

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE). **Risk management maturity level development (RMRP-2002-02)**. San Diego: INCOSE, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 31000 risk management**. Disponível em: <<https://www.iso.org/iso-31000-risk-management.html>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

JACOWITZ, K. E.; KAHNEMAN, D. Measures of anchoring in estimation tasks. **Personality and Social Psychology Bulletin**, v. 21, n. 11, p. 1161–1166, 1995.

JAHNKE, S. S.; GOMEZ, A. M.; FISCHER, P. M.; LANGE, C. Concurrent engineering in later project phases: current methods and future demands. In: INTERNATIONAL ASTRONAUTICAL CONGRESS (IAC), 2018. **Proceedings...** 2018. Disponível em: <<https://elib.dlr.de/121731/>>.

JARVIS, C. B.; MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M. A critical review of construct indicators and measurement model misspecification in marketing and consumer research. **Journal of Consumer Research**, v. 30, n. 2, p. 199–218, 2003.

JENSEN, A.; AVEN, T. A new definition of complexity in a risk analysis setting. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 171, p. 169–173, 2018.

JESUS, G. T.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Information items to improve Integration Readiness Levels evaluation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, 2020.

JESUS, G. T.; ITAMI, S. N.; SEGANTINE, T. Y. F.; CHAGAS JUNIOR, M. F. Innovation path and contingencies in the China-Brazil Earth Resources Satellite program. **Acta Astronautica**, v. 178, p. 382–391, 2021.

JIA, R.; FURLONG, E.; GAO, S.; SANTOS, L. R.; LEVY, I. Learning about the Ellsberg Paradox reduces, but does not abolish, ambiguity aversion. **PLOS ONE**, v. 15, n. 3, p. 1–24, 2020.

JOHANSEN, I. L.; RAUSAND, M. Ambiguity in risk assessment. **Safety Science**, v. 80, p. 243–251, 2015.

JOHNS, C. H. W. **Babylonian and assyrian laws, contracts and letters**. New York, EUA: Charles Scribner's Sons, 1904. 424 p.

JOHNSON, B. B.; SWEDLOW, B. Cultural theory's contributions to risk analysis: a thematic review with directions and resources for further research. **Risk Analysis**, v. 41, n. 3, p. 429–455, 2021.

JØSANG, A.; ISMAIL, R.; BOYD, C. A survey of trust and reputation systems for online service provision. **Decision Support Systems**, v. 43, n. 2, p. 618–644, 2007.

KAHNEMAN, D. Maps of bounded rationality: psychology for behavioral economics. **The American Economic Review**, v. 93, n. 5, p. 1449–1475, 2003a.

KAHNEMAN, D. A perspective on judgment and choice: mapping bounded rationality. **The American psychologist**, v. 58, n. 9, p. 697–720, 2003b.

KAHNEMAN, D.; FREDERICK, S. Representativeness revisited: attribute substitution in intuitive judgment. In: GILOVICH, T.; GRIFFIN, D.; KAHNEMAN, D. (Ed.). **Heuristics and biases: the psychology of intuitive judgment**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2002. p. 49–81.

KAHNEMAN, D.; LOVALLO, D. Timid choices and bold forecasts: a cognitive perspective on risk taking. **Management Science**, v. 39, n. 1, p. 17–31, 1993.

KAHNEMAN, D.; LOVALLO, D.; SIBONY, O. Before you make that big decision.. **Harvard business review**, v. 89, n. 6, p. 50- 60, 2011.

KAHNEMAN, D.; RITOV, I.; SCHKADE, D. Economic preferences or attitude expressions?: an analysis of dollar responses to public issues. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 19, n. 1, p. 203–235, 1999.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. **Intuitive prediction: biases and corrective procedures**. In: KAHNEMAN, D.; SLOVIC, P.; TVERSKY, A. (Ed.). **Judgment under uncertainty: heuristics and biases**. Eugene, Oregon, 1977. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a047747.pdf>>.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: an analysis of decision under risk. **Econometrica**, v. 47, n. 2, p. 263–291, 1979.

KAPLAN, S.; GARRICK, B. J. On the quantitative definition of risk. **Risk Analysis**, v. 1, n. 1, p. 11–27, 1981.

KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R. E.; PIDGEON, N.; SLOVIC, P. The social amplification of risk: assessing fifteen years of research and theory. In: PIDGEON, N.; KASPERSON, R. E.; SLOVIC, P. (Ed.). **The social amplification of risk**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2003. p. 13–46.

KASPERSON, R. E.; RENN, O.; SLOVIC, P.; BROWN, H. S.; EMEL, J.; GOBLE, R.; KASPERSON, J. X.; RATICK, S. The social amplification of risk: a conceptual framework. **Risk Analysis**, v. 8, n. 2, p. 177–187, 1988.

KASPERSON, R. E.; WEBLER, T.; RAM, B.; SUTTON, J. The social amplification of risk framework: New perspectives. **Risk Analysis**, v. 42, n. 7, p. 1367–1380, 2022.

KATTAKURI, V. **Failures in spacecraft systems: an analysis from the perspective of decision making**. Purdue University, 2019. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/DELP/sites/default/files/V2_Failures_in_spacecraft_systems__An_analysis_from_the_perspective_of_decision_making_0.pdf>.

KATTAKURI, V.; PANCHAL, J. H. Spacecraft failure analysis from the perspective of design decision-making. In: ASME INTERNATIONAL DESIGN ENGINEERING TECHNICAL CONFERENCES AND COMPUTERS AND

INFORMATION IN ENGINEERING CONFERENCE, 2019. **Proceedings...** 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1115/DETC2019-98420>>.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. New York: Cambridge University Press, 1976. 569 p.

KEISLER, J. M.; LINKOV, I. Use and misuse of MCDA to support decision making informed by risk. **Risk Analysis**, v. 41, n. 9, p. 1513–1521, 2021.

KEREN, G.; GERRITSEN, L. E. M. On the robustness and possible accounts of ambiguity aversion. **Acta Psychologica**, v. 103, n. 1, p. 149–172, 1999.

KERN, L.; GENEAU, A.; LAFOREST, S.; DUMAS, A.; TREMBLAY, B.; GOULET, C.; LEPAGE, S.; BARNETT, T. A. Risk perception and risk-taking among skateboarders. **Safety Science**, v. 62, p. 370–375, 2014.

KEYNES, J. M. **A treatise on probability**. London, UK: Macmillan, 1921. 466 p.

KEYNES, J. M. The general theory of employment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 51, n. 2, p. 209–223, 1937.

KEYNES, J. M. **The collected writings of John Maynard Keynes: a treatise on probability**. [S.l.]: Royal Economic Society, 1978.

KLINKE, A.; RENN, O. A new approach to risk evaluation and management: risk-based, precaution-based, and discourse-based strategies¹. **Risk Analysis**, v. 22, n. 6, p. 1071–1094, 2002.

KLINKE, A.; RENN, O.; GOBLE, R. Prologue: the “brave new world” of social sciences in interdisciplinary risk research. **Risk Analysis**, v. 41, n. 3, p. 407–413, 2021.

KLOPROGGE, P.; VAN DER SLUIJS, J. P.; PETERSEN, A. C. A method for the analysis of assumptions in model-based environmental assessments. **Environmental Modelling & Software**, v. 26, n. 3, p. 289–301, 2011.

KNIGHT, F. H. **Risk, uncertainty and profit**. New York, EUA: Dover Publications, 1921. 448 p. ISBN(9780486147932).

KNOLL, D.; FORTIN, C.; GOLKAR, A. Review of concurrent engineering design practice in the space sector: state of the art and future perspectives. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS ENGINEERING SYMPOSIUM (ISSE), 2018. **Proceedings...** IEEE, 2018.

KNUTH, D.; KEHL, D.; HULSE, L.; SCHMIDT, S. Risk perception, experience, and objective risk: a cross-national study with european emergency survivors. **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1286–1298, 2014.

KREWSKI, D.; SOMERS, E.; BIRKWOOD, P. L. Risk perception in a decision making context. **Environmental Carcinogenesis Reviews**, v. 5, n. 2, p. 175–209, 1987.

KRIZAN, Z.; WINDSCHITL, P. D. The influence of outcome desirability on optimism. **Psychological Bulletin**, v. 133, n. 1, p. 95–121, 2007.

KUNSCH, P. L.; ISHIZAKA, A. A note on using centroid weights in additive multi-criteria decision analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 277, n. 1, p. 391–393, 2019.

KUTSCH, E.; MAYLOR, H.; WEYER, B.; LUPSON, J. Performers, trackers, lemmings and the lost: sustained false optimism in forecasting project outcomes — evidence from a quasi-experiment. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 8, p. 1070–1081, 2011.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design science research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LANDAU, M.; CHISHOLM, D. The arrogance of optimism: notes on failure-avoidance management. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, v. 3, n. 2, p. 67–80, 1995.

LANGDALEN, H.; ABRAHAMSEN, E. B.; ABRAHAMSEN, H. B. A new framework to identify and assess hidden assumptions in the background knowledge of a risk assessment. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 200, p. 106909, 2020.

LANGER, E. J. The illusion of control. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 32, n. 2, p. 311–328, 1975.

LARSON, S. Cognitive bias in the verification and validation of space flight systems. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2012. **Proceedings... IEEE**, 2012.

LAURIOLA, M.; WELLER, J. Personality and risk: beyond daredevils— risk taking from a temperament perspective BT. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 3–36.

LAWSON, T. Uncertainty and economic analysis. **The Economic Journal**, v. 95, n. 380, p. 909–927, 1985.

LEISING, C. J.; SHERWOOD, B.; ADLER, M.; WESSEN, R. R.; NADERI, F. M. Recent improvements in JPL's mission formulation process. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE PROCEEDINGS, 2010. **Proceedings... IEEE**, 2010.

LEJUEZ, C. W.; READ, J. P.; KAHLER, C. W.; RICHARDS, J. B.; RAMSEY, S.

E.; STUART, G. L.; STRONG, D. R.; BROWN, R. A. Evaluation of a behavioral measure of risk taking: the Balloon Analogue Risk Task (BART). **Journal of Experimental Psychology Applied**, v. 8, n. 2, p. 75–84, 2002.

LEMPERT, R. J. Robust Decision Making (RDM) BT. In: MARCHAU, V. A. W. J.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J. T. M.; POPPER, S. W. (Ed.). **Decision making under deep uncertainty: from theory to practice**. Cham: Springer, 2019. p. 23–51.

LEMPERT, R. J.; POPPER, S. W.; BANKES, S. C. **Shaping the next one hundred years**. [S.l.]: RAND Corporation, 2003. ISBN(9780833032751).

LENGYEL, D. M. **A critical examination of the relationships between risk management, knowledge management and decision making**. The George Washington University, 2018. Disponível em: <<https://scholarspace.library.gwu.edu/etd/d504rk599>>.

LEONETI, A. B.; GOMES, L. F. A. M. A novel version of the TODIM method based on the exponential model of prospect theory: the ExpTODIM method. **European Journal of Operational Research**, v. 295, n. 3, p. 1042–1055, 2021.

LERMER, E.; STREICHER, B.; RAUE, M. Measuring subjective risk estimates. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 313–327.

LEROY, S. F.; SINGELL, L. D. Knight on risk and uncertainty. **Journal of Political Economy**, v. 95, n. 2, p. 394–406, 1987.

LINSTONE, H. A. The multiple perspective concept: with applications to technology assessment and other decision areas. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 20, n. 4, p. 275–325, 1981.

LIU, H.; JIANG, C.; LIU, Y.; HERTOUGH, M.; LYU, X. Optimism bias evaluation and decision-making risk forecast on bridge project cost based on reference class forecasting: evidence from China. **Sustainability**, v. 10, n. 11, p. 3981, 2018.

LOEWENSTEIN, G. F.; WEBER, E. U.; HSEE, C. K.; WELCH, N. **Risk as feelings**. US: American Psychological Association, 2001.

LOGAN, T. M.; AVEN, T.; GUIKEMA, S.; FLAGE, R. The role of time in risk and risk analysis: implications for resilience, sustainability, and management. **Risk Analysis**, v. 41, n. 11, p. 1959–1970, 2021.

LÖNNQVIST, J.-E.; VERKASALO, M.; WALKOWITZ, G.; WICHARDT, P. C. Measuring individual risk attitudes in the lab: task or ask? an empirical comparison. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 119, p. 254–266, 2015.

- LOOMES, G.; SUGDEN, R. Regret theory: an alternative theory of rational choice under uncertainty. **The Economic Journal**, v. 92, n. 368, p. 805–824, 1982.
- LOPES, L. L. Between hope and fear: the psychology of risk. In: BERKOWITZ, L. (Ed.). **Advances in experimental social psychology**. [S.l.]: Academic Press, 1987. v. 20, p. 255–295.
- LOUGH, K. G.; STONE, R.; TUMER, I. Y. The risk in early design method. **Journal of Engineering Design**, v. 20, n. 2, p. 155–173, 2009.
- LOVALLO, D.; KAHNEMAN, D. Delusions of success: how optimism undermines executives' decisions. **Harvard Business Review**, v. 81, n. 7, p. 56–63, 2003.
- MACCRIMMON, K. R. Descriptive and normative implications of the decision-theory postulates. In: BORCH, K.; MOSSIN, J. (Ed.). **Risk and uncertainty** London: Palgrave Macmillan UK, 1968. p. 3–32.
- MACDONALD, M. A system-level view of space projects. In: MACDONALD, M.; BADESCU, V. (Ed.). **The international handbook of space technology**. Berlin: Springer, 2014. p. 25–36.
- MACGILLIVRAY, B. H. Null hypothesis testing \neq scientific inference: a critique of the Shaky premise at the heart of the science and values debate, and a defense of value-neutral risk assessment. **Risk Analysis**, v. 39, n. 7, p. 1520–1532, 2019.
- MAGESSI, N. T.; ANTUNES, L. Modelling agents' risk perception. In: OMATU, S.; NEVES, J.; RODRIGUEZ, J. M. C.; PAZ SANTANA, J. F.; GONZALEZ, S. R. (Ed.). **Distributed computing and artificial intelligence** Cham: Springer, 2013.
- MANKINS, J. C. **Technology readiness levels – a white paper**. Washington: NASA, 1995.
- MANKINS, J. C. **Research & Development Degree of Difficulty (R&D3) – a white paper**. Washington: NASA, 1998.
- MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9, p. 1216–1223, 2009a.
- MANKINS, J. C. Technology readiness and risk assessments: a new approach. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9–10, p. 1208–1215, 2009b.
- MARCH, J. G.; SHAPIRA, Z. Managerial perspectives on risk and risk taking. **Management Science**, v. 33, n. 11, p. 1404–1418, 1987.
- MARCHAU, V. A. W. J.; WALKER, W. E.; BLOEMEN, P. J. T. M.; POPPER, S. W. **Decision making under deep uncertainty: from theory to practice**. [S.l.]:

Springer, 2019. 405 p. ISBN(978-3-030-05252-2).

MARKIEWICZ, Ł.; MUDA, R.; KUBIŃSKA, E.; AUGUSTYNOWICZ, P. An explanatory analysis of perceived risk decision weights (perceived-risk attitudes) and perceived benefit decision weights (perceived-benefit attitudes) in risk-value models. **Journal of Risk Research**, v. 23, n. 6, p. 739–761, 2020.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77–91, 1952.

MARTIN, I. M.; BENDER, H.; RAISH, C. What motivates individuals to protect themselves from risks: the case of wildland fires. **Risk Analysis**, v. 27, n. 4, p. 887–900, 2007.

MARTIN, R. L. **The opposable mind: winning through integrative thinking**. [S.l.]: Harvard Business School Press, 2009. ISBN(9781422139776).

MATA, R.; FREY, R.; RICHTER, D.; SCHUPP, J.; HERTWIG, R. Risk preference: a view from psychology. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 32, n. 2, p. 155–172, 2018.

MAYER, R. C.; DAVIS, J. H.; SCHOORMAN, F. D. An integrative model of organizational trust. **The Academy of Management Review**, v. 20, n. 3, p. 709–734, 1995.

MAYTORENA, E.; WINCH, G. M.; FREEMAN, J.; KIELY, T. The influence of experience and information search styles on project risk identification performance. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 54, n. 2, p. 315–326, 2007.

MELKONYAN, T. A. The effect of communicating ambiguous risk information on choice. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 36, n. 2, p. 292–312, 2011.

ESHKAT, L. A holistic approach for risk management during dDesign. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2007. **Proceedings...** IEEE, 2007.

MESHKAT, L.; CORNFORD, S. L.; VOSS, L.; FEATHER, M. S. An integrated approach to risk assessment for concurrent design. In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE, 2005. **Proceedings...** IEEE, 2005.

MESHKAT, L.; SHAPIRO, A. Probabilistic risk assessment for concurrent, conceptual design of space missions. In: AIAA SPACE CONFERENCE AND EXPOSITION, 2005. **Proceedings...** 2005.

MITTAL, V.; ROSS, W. T. The impact of positive and negative affect and issue framing on issue interpretation and risk taking. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 76, n. 3, p. 298–324, 1998.

MOEN, B.-E. **Explaining risk perception: an evaluation of the psychometric**

paradigm in risk perception research. 2004. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/31421344/explaining-risk-perception-an-evaluation-of-the-psychometric>.

MONTIBELLER, G.; VON WINTERFELDT, D. Cognitive and motivational biases in decision and risk analysis. **Risk Analysis**, v. 35, n. 7, p. 1230–1251, 2015.

MONTIBELLER, G.; VON WINTERFELDT, D. Individual and group biases in value and uncertainty judgments. In: DIAS, L. C.; MORTON, A.; QUIGLEY, J. (Ed.). **Elicitation: the science and art of structuring judgement**. Cham: Springer, 2018. p. 377–392.

MORALES-TORRES, A.; ESCUDER-BUENO, I.; SERRANO-LOMBILLO, A.; CASTILLO RODRÍGUEZ, J. T. Dealing with epistemic uncertainty in risk-informed decision making for dam safety management. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 191, p. 106562, 2019.

MOUSAVI, S.; GIGERENZER, G. Risk, uncertainty, and heuristics. **Journal of Business Research**, v. 67, n. 8, p. 1671–1678, 2014.

MOUSAVI, S.; GIGERENZER, G. Heuristics are tools for uncertainty. **Homo Oeconomicus**, v. 34, n. 4, p. 361–379, 2017.

MULQUEEN, J.; MAPLES, C. D.; FABISINSKI, L. Tailoring systems engineering processes in a conceptual design environment: a case study at NASA Marshall Spaceflight Center's ACO. In: INCOSE INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2012. **Proceedings...** 2012.

MURATA, A.; NAKAMURA, T.; KARWOWSKI, W. Influence of cognitive biases in distorting decision making and leading to critical unfavorable incidents. **Safety**, v. 1, n. 1, p. 44–58, 2015.

MURRAY-WEBSTER, R.; HILLSON, D. **Managing group risk attitude**. Aldershot, UK: Gower Publishing, 2008. 166 p. ISBN(9780566087875).

MUSSWEILER, T.; STRACK, F. The use of category and exemplar knowledge in the solution of anchoring tasks. **Journal of personality and social psychology**, v. 78, n. 6, p. 1038–1052, 2000.

MUSSWEILER, T.; STRACK, F. The semantics of anchoring. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 86, n. 2, p. 234–255, 2001.

MUSSWEILER, T.; STRACK, F.; PFEIFFER, T. Overcoming the inevitable anchoring effect: considering the opposite compensates for selective accessibility. **Personality and Social Psychology Bulletin**, v. 26, n. 9, p. 1142–1150, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Planetary science decadal survey – JPL team X titan lake probe study final**

report. 2010. Disponível em: <<https://solarsystem.nasa.gov/studies/223/jpl-team-x-titan-lake-probe-study-final-report/>>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Gravitational-wave mission concept study final report.** 2012. Disponível em: <https://pcos.gsfc.nasa.gov/physpag/GW_Study_Rev3_Aug2012-Final.pdf>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2009-569 bayesian Inference for NASA probabilistic risk and reliability analysis.** Washington: NASA, 2009.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2010-576 NASA risk-informed decision making handbook.** Washington: NASA, 2010.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2011-3422 NASA risk management handbook.** Washington: NASA, 2011. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120000033>>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA space flight program and project management handbook.** Washington: NASA, 2014.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NASA/SP-2016-6105 NASA systems engineering handbook.** Washington: NASA, 2016a.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NID 8000-108 agency risk management procedural requirements.** Washington: NASA, 2016b.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **NPR 8000.4B agency risk management procedural requirements.** Washington: NASA, 2017.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Technology readiness assessment: best practices guide.** 2020. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/20205003605>>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Risk management.** Disponível em: <<https://sma.nasa.gov/sma-disciplines/risk-management#>>. Acesso em: 1 set. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Mitigating cognitive bias in engineering decision-making.** Disponível em: <<https://appel.nasa.gov/2018/04/11/mitigating-cognitive-bias-in-engineering-decision-making/>>. Acesso em: 27 ago. 2020.

NETH, H.; GIGERENZER, G. Heuristics: tools for an uncertain world. In: SCOTT, R. A.; BUCHMANN, M. C. (Ed.). **Emerging trends in the social and behavioral sciences**. [S.l.]: American Cancer Society, 2015. p. 1–18.

NICHOLSON, N.; SOANE, E.; FENTON-O’CREEVY, M.; WILLMAN, P. Personality and domain-specific risk taking. **Journal of Risk Research**, v. 8, n. 2, p. 157–176, 2005.

NILSEN, T.; AVEN, T. Models and model uncertainty in the context of risk analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 79, n. 3, p. 309–317, 2003.

NOBANEE, H.; ALHAJJAR, M.; ALKAABI, M. A.; ALMEMARI, M. M.; ALHASSANI, M. A.; ALKAABI, N. K.; ALSHAMSI, S. A.; ALBLOOSHI, H. H. A Bibliometric analysis of objective and subjective risk. **Risks**, v. 9, n. 7, p. 128, 2021.

NYRE, Å. A.; JAATUN, M. G. Seeking risks: towards a quantitative risk perception measure BT: availability, reliability, and security in information systems and HCI. In: INTERNATIONAL CROSS-DOMAIN CONFERENCE, 5., 2013. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2013.

O’SULLIVAN, O. P. The neural basis of always looking on the bright side. **Dialogues in Philosophy, Mental and Neuro Sciences**, v. 8, n. 1, p. 11–15, 2015.

OLIVA, F. L. A maturity model for enterprise risk management. **International Journal of Production Economics**, v. 173, p. 66–79, 2016.

ORE, O. Pascal and the invention of probability theory. **The American Mathematical Monthly**, v. 67, n. 5, p. 409–419, 1960.

OXFORD UNIVERSITY PRESS. **Oxford dictionary**. Disponível em: <<https://en.oxforddictionaries.com/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

PASMAN, H. J.; ROGERS, W. J.; BEHIE, S. W. Selecting a method/tool for risk-based decision making in complex situations. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 74, p. 104669, 2022.

PASMAN, H. J.; ROGERS, W. J.; MANNAN, M. S. Risk assessment: what is it worth? shall we just do away with it, or can it do a better job? **Safety Science**, v. 99, p. 140–155, 2017.

PATÉ-CORNELL, E. Probabilistic risk analysis versus decision analysis: similarities, differences and illustrations. In: ABDELLAOUI, M.; LUCE, R. D.; MACHINA, M. J.; MUNIER, B. (Ed.). **Uncertainty and risk: mental, formal, experimental representations**. Berlin: Springer, 2007. p. 223–242.

PAULK, M. C. A history of the capability maturity model for software. **ASQ Software Quality Professional**, v. 12, n. 1, p. 5–19, 2009.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PENA, J.; NÁPOLES, G.; SALGUEIRO, Y. Explicit methods for attribute weighting in multi-attribute decision-making: a review study. **Artificial Intelligence Review**, v. 53, n. 5, p. 3127–3152, 2020.

PENCE, J.; MOHAGHEGH, Z. A discourse on the incorporation of organizational factors into probabilistic risk assessment: key questions and categorical review. **Risk Analysis**, v. 40, n. 6, p. 1183–1211, 2020.

PFEFFER, I. **Insurance and economic theory**. [S.l.]: University of Pennsylvania, 1956. 213 p.

PREYSSL, C.; ALARCON, R.; SARAH, M.-G. **Risk management at the European Space Agency: an overview**. 2005. Disponível em: <<http://www.esa.int/esapub/br/br259/br259.pdf>>.

PREYSSL, C.; SARAH, M.-G. Recent risk management initiatives at the European Space Agency (ESA) part 1. In: SPITZER, C.; SCHMOCKER, U.; DANG, V. N. (Ed.). London: Springer, 2004. p.1447-1452.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A guide to the project management body of knowledge**. 6.ed. Newtown Square, PA: PMI, 2017. 573 p. ISBN(978-1-62825-184-5).

PUSHKARSKAYA, H.; LIU, X.; SMITHSON, M.; JOSEPH, J. E. Beyond risk and ambiguity: deciding under ignorance. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience**, v. 10, n. 3, p. 382–391, 2010.

RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. Preface. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham, Switzerland: Springer, 2018. p. vii–xi.

RAUE, M.; SCHOLL, S. G. The use of heuristics in decision making under risk and uncertainty. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 153–179.

RAZ, T.; SHENHAR, A. J.; DVIR, D. Risk management, project success, and technological uncertainty. **R&D Management**, v. 32, n. 2, p. 101–109, 2002.

REEVES, J. D.; EVELEIGH, T.; HOLZER, T.; SARKANI, S. The impact of early design phase risk identification biases on space system project performance. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SysCon), 2012. **Proceedings...** IEEE, 2012

REN, Y. T.; YEO, K. T. Risk management capability maturity model for complex

product systems (CoPS) projects. In: IEEE INTERNATIONAL ENGINEERING MANAGEMENT CONFERENCE, 2004. **Proceedings...** IEEE, 2004.

RENN, O. Risk perception and risk management: a Review part 2: lessons for risk management. **Risk Management**, 1990a.

RENN, O. Risk perception and risk management: a review part 1. **Risk Abstracts**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 1990b.

RENN, O. Risk management. In: _____ (Ed.). **Risk governance coping with uncertainty in a complex world**. [S.l.]: Routledge, 2008a. p. 173–200.

RENN, O. Appraisal. In: _____ (Ed.). **Risk governance coping with uncertainty in a complex world**. London, UK: Earthscan, 2008b. p. 67–78.

RENN, O. Risk perception. In: _____ (Ed.). **Risk governance coping with uncertainty in a complex world**. London, UK: Earthscan, 2008c. p. 93–148.

RENN, O. Implications for risk governance. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 345–369.

RENN, O.; BURNS, W. J.; KASPERSON, J. X.; KASPERSON, R. E.; SLOVIC, P. The social amplification of risk: theoretical foundations and empirical applications. **Journal of Social Issues**, v. 48, n. 4, p. 137–160, 1992.

RENN, O.; ROHRMANN, B. Cross-cultural risk perception: state and challenges. In: _____ (Ed.). **Cross-cultural risk perception: a survey of empirical studies**. Boston, MA: Springer US, 2000. p. 211–233.

ROBERTS, R.; GOODWIN, P. Weight approximations in multi-attribute decision models. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 11, n. 6, p. 291–303, 2002.

ROCA, M.; HOGARTH, R. M.; MAULE, A. J. Ambiguity seeking as a result of the status quo bias. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 32, n. 3, p. 175–194, 2006.

ROHRMANN, B. The risk notion: epistemological and empirical considerations. In: STEWARD, M. G.; MELCHERS, R. E. (Ed.). **Integrated risk assessment: applications and regulations**. Balkema: Rotterdam, 1998. p. 39–46.

ROHRMANN, B. **Risk attitude sales: concepts, questionnaires, utilizations**. Melbourne, AUS. 2005. Disponível em:
<<http://www.rohrmannresearch.net/pdfs/rohrmann-racreport.pdf>>.

ROHRMANN, B. Risk perception, risk attitude, risk communication, risk management: a conceptual appraisal. In: TIEMS CONFERENCE, 15., 2008. **Proceedings...** 2008. Disponível em:

<<http://www.rohrmannresearch.net/pdfs/rohrmann-rrr.pdf>>.

ROHRMANN, B.; RENN, O. Risk perception research. In: _____ (Ed.). **Cross-cultural risk perception: a survey of empirical studies**. Boston, MA: Springer, 2000. p. 11–53.

ROSENBERG, L.; HIHN, J.; LUM, K. Cost and risk estimating and analysis in a concurrent engineering environment. In: NASA COST SYMPOSIUM, 2013, Pasadena, CA. **Proceedings...** 2013. Disponível em: <https://www.nasa.gov/offices/ocfo/cost_symposium/2013_presentations>.

RUNDE, J. Keynesian uncertainty and the weight of arguments. **Economics and Philosophy**, v. 6, n. 2, p. 275–292, 1990.

SADIN, S. R.; POVINELLI, F. P.; ROSEN, R. The NASA technology push towards future space mission systems. **Acta Astronautica**, v. 20, p. 73–77, 1989.

SALAWU, R. A.; ABDULLAH, F. Assessing risk management maturity of construction organisations on infrastructural project delivery in Nigeria. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 172, p. 643–650, 2015.

SAMSON, S.; RENEKE, J. A.; WIECEK, M. M. A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 94, n. 2, p. 558–567, 2009.

SANDMAN, P. M. Hazard versus outrage in the public perception of risk BT. In: COVELLO, V. T.; MCCALLUM, D. B.; PAVLOVA, M. T. (Ed.). **Effective risk communication: the role and responsibility of government and nongovernment organizations**. Boston, MA: Springer, 1989. p. 45–49.

SAUSER, B.; GOVE, R.; FORBES, E.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. Integration maturity metrics: development of an integration readiness level. **Information Knowlegme Systems Management**, v. 9, n. 1, p. 17–46, 2010.

SAUSER, B. J.; MARQUEZ, J. E. R.; HENRY, D.; DIMARZIO, D. A system maturity index for the systems engineering life cycle. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 3, n. 6, p. 673, 2008.

SEYBERT, N.; BLOOMFIELD, R. Contagion of wishful thinking in markets. **Management Science**, v. 55, n. 5, p. 738–751, 2009.

SHAFER, G. **A mathematical theory of evidence**. [S.l.]: Princeton University Press, 1976. v. 79, 314 p. ISBN(9780691100425).

SHENHAR, A. J.; DVIR, D. Toward a typological theory of project management. **Research Policy**, v. 25, n. 4, p. 607–632, 1996.

SHERWOOD, B.; MCCLEESE, D. JPL innovation foundry. **Acta Astronautica**, v. 89, p. 236–247, 2013.

- SHORE, B. Systematic biases and culture in project failures. **Project Management Journal**, v. 39, n. 4, p. 5–16, 2008.
- SHORTRIDGE, J.; AVEN, T.; GUIKEMA, S. Risk assessment under deep uncertainty: a methodological comparison. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 159, p. 12–23, 2017.
- SIEFERT, W. T. **Cognitive biases in risk management**. University of Missouri-Rolla, 2007. Disponível em: <<http://merlin.lib.umsystem.edu/record=b6430428~S5>>.
- SIEGRIST, M. Trust and risk perception: a critical review of the literature. **Risk Analysis**, v. 41, n. 3, p. 480–490, 2021.
- SIEGRIST, M.; GUTSCHER, H.; EARLE, T. C. Perception of risk: the influence of general trust, and general confidence. **Journal of Risk Research**, v. 8, n. 2, p. 145–156, 2005.
- SIMON, H. A. A behavioral model of rational choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99–118, 1955.
- SIMON, H. A. Making management decisions: the role of intuition and emotion. **The Academy of Management Executive (1987-1989)**, v. 1, n. 1, p. 57–64, 1987.
- SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3.ed. Cambridge, USA: M.I.T. Press, 1996. 248 p. ISBN(978-0262691918).
- SIMON, H. A. **Administrative behavior**. 4.ed. New York: Free Press, 1997. 384 p. ISBN(978-0684835822).
- SINGPURWALLA, N. D. **Reliability and risk: a bayesian perspective**. New York: John Wiley & Sons, 2006. 371 p. ISBN(978-0-470-85502-7).
- SITE, P. D.; FILIPPI, F. Weighting methods in multi-attribute assessment of transport projects. **European Transport Research Review**, v. 1, n. 4, p. 199–206, 2009.
- SKITMORE, R. M.; STRADLING, S. G.; TUOHY, A. P. Project management under uncertainty. **Construction Management and Economics**, v. 7, n. 2, p. 103–113, 1989.
- SLOVIC, P. Assessment of risk taking behavior. **Psychological Bulletin**, v. 61, n. 3, p. 220–233, 1964.
- SLOVIC, P. Perception of risk. **Science**, v. 236, n. 4799, p. 280–285, 1987.
- SLOVIC, P. Perception of risk: reflections on the psychometric paradigm. In: KRIMSKY, S.; GOLDING, D. (Ed.). **Social theories of risk**. [S.l.]: Praeger, 1992. p. 117–152.

SLOVIC, P. **The feeling of risk: new perspectives on risk perception**. [S.l.]: Earthscan, 2010a. 425 p. ISBN(9781849711487).

SLOVIC, P. The psychology of risk. **Saúde e Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 731–747, 2010b.

SLOVIC, P.; FINUCANE, M. L.; PETERS, E.; MACGREGOR, D. G. The affect heuristic. In: GILOVICH, T.; GRIFFIN, D.; KAHNEMAN, D. (Ed.). **Heuristics and biases: the psychology of intuitive judgment**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2002. v. 177p. 397–420.

SLOVIC, P.; FINUCANE, M. L.; PETERS, E.; MACGREGOR, D. G. Risk as analysis and risk as feelings: some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. **Risk Analysis**, v. 24, n. 2, p. 311–322, 2004.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S. Behavioral decision theory. **Annual Review of Psychology**, v. 28, n. 1, p. 1–39, 1977.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S. Facts and fears: understanding perceived risk. In: SCHWING, R. C.; ALBERS, W. A. (Ed.). **Societal risk assessment: how safe is safe enough?** Boston, MA: Springer, 1980. p. 181–216.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S. Rating the risks. In: HAIMES, Y. Y. (Ed.). **Risk/benefit analysis in water resources planning and management**. Boston, MA: Springer, 1981. p. 193–217.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S. Why study risk perception? **Risk Analysis**, v. 2, n. 2, p. 83–93, 1982.

SLOVIC, P.; FISCHHOFF, B.; LICHTENSTEIN, S. Behavioral decision theory perspectives on risk and safety. **Acta Psychologica**, v. 56, n. 1, p. 183–203, 1984.

SMITH, E. D.; SIEFERT, W. T.; DRAIN, D. Risk matrix input data biases. **Systems Engineering**, v. 12, n. 4, p. 344–360, 2009.

SMITH, J. D. An alternative to technology readiness levels for Non-Developmental Item (NDI) software. In: ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 38., 2005. **Proceedings...** 2005.

SO, J.; SHEN, L. Personalization of risk through convergence of self- and character-risk: narrative effects on social distance and self-character risk perception gap. **Communication Research**, v. 43, n. 8, p. 1094–1115, 2016.

SOCIETY FOR RISK ANALYSIS (SRA). **Glossary**. 2018a. Disponível em: <<http://www.sra.org/resources>>.

SOCIETY FOR RISK ANALYSIS (SRA). **Fundamental principles**. 2018b. Disponível em: <<http://www.sra.org/resources>>.

- SOCIETY FOR RISK ANALYSIS (SRA). **Core subjects of risk analysis**. 2018c. Disponível em: <<http://www.sra.org/resources>>.
- SOLYMOSI, T.; DOMBI, J. A method for determining the weights of criteria: the centralized weights. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n. 1, p. 35–41, 1986.
- SOUZA, J. P. E.; DE JESUS, G. T.; COSTA, L. L.; PEREIRA, R. F. **Estudo e proposta de categorização de projetos do INPE**. São José dos Campos: INPE, 2022. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/46UHJ5L>>.
- STAMATELATOS, M.; DEZFULI, H. **NASA/SP-2011-3421 probabilistic risk assessment procedures guide for NASA managers and practitioners**. Washington, D.C.: NASA, 2011. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/20120001369>>.
- STANOVICH, K. E.; WEST, R. F. Individual differences in reasoning: implications for the rationality debate? **Behavioral and Brain Sciences**, v. 23, n. 5, p. 645–665, 2000.
- STANTON, M. C. B.; ROELICH, K. Decision making under deep uncertainties: a review of the applicability of methods in practice. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 171, p. 120939, 2021.
- STARR, C. Social benefit versus technological risk. **Science**, v. 165, n. 3899, p. 1232–1238, 1969.
- STEINBERG, L. The influence of neuroscience on US Supreme Court decisions about adolescents' criminal culpability. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 14, n. 7, p. 513–518, 2013.
- STIGLER, S. M. Laplace's 1774 memoir on inverse probability. **Statistical Science**, v. 1, n. 3, p. 359–363, 1986.
- STIGUM, B. P.; WENSTØP, F. **Foundations of utility and risk theory with applications**. [S.l.]: Springer, 2013. ISBN(9789401715904).
- STIRLING, A. Risk, uncertainty and precaution: some instrumental implications from the social sciences. In: BERKHOUT, F.; LEACH, M.; SCOONES, I. (Ed.). **Negotiating environmental change new perspectives from social science**. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2003.
- TAKEMURA, K. Ordinal utility and preference reversal phenomenon. In: _____ (Ed.). **Behavioral decision theory**. Tokyo: Springer, 2014. p. 17–24.
- TALEB, N. N. **The black swan: the impact of the highly improbable**. New York: Random House, 2007. 366 p. ISBN(978-1-4000-6351-2).
- TANAKA, T.; CAMERER, C. F.; NGUYEN, Q. Risk and time preferences: linking experimental and household survey data from Vietnam. In: IKEDA, S.;

KATO, H. K.; OHTAKE, F.; TSUTSUI, Y. (Ed.). **Behavioral economics of preferences, choices, and happiness**. Tokyo: Springer, 2016. v. 100p. 557–571.

TAYLOR, S. E.; BROWN, J. D. Illusion and well-being: a social psychological perspective on mental health. **Psychological bulletin**, v. 103, n. 2, p. 193–210, 1988.

THAMHAIN, H. Managing risks in complex projects. **Project Management Journal**, v. 44, n. 2, p. 20–35, 2013.

THOMAS, O. Two decades of cognitive bias research in entrepreneurship: what do we know and where do we go from here? **Management Review Quarterly**, v. 68, n. 2, p. 107–143, 2018.

THUNNISSEN, D. P. Uncertainty classification for the design and development of complex systems. In: ANNUAL PREDICTIVE METHODS CONFERENCE, VEROS SOFTWARE, 3., 2003. **Proceedings...** 2003.

THUNNISSEN, D. P. **Propagating and mitigating uncertainty in the design of complex multidisciplinary systems**. California Institute of Technology, 2005. Disponível em: <<https://thesis.library.caltech.edu/53/>>.

TOH, C. A.; MILLER, S. R. Choosing creativity: the role of individual risk and ambiguity aversion on creative concept selection in engineering design. **Research in Engineering Design**, v. 27, n. 3, p. 195–219, 2016.

TOMPKINS, M. K.; BJÄLKEBRING, P.; PETERS, E. Emotional aspects of risk perceptions. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 109–130.

TRAUTMANN, S. T.; VAN DE KUILEN, G. Ambiguity attitudes. In: KEREN, G.; WU, G. (Ed.). **The Wiley Blackwell handbook of judgment and decision making**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. p. 89–116.

TRAUTMANN, S. T.; VIEIDER, F. M.; WAKKER, P. P. Causes of ambiguity aversion: known versus unknown preferences. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 36, n. 3, p. 225–243, 2008.

TRIMPOP, R. M. What is risk taking behavior. In: MACKENZIE, C. L.; IBERALL, T. (Ed.). **Advances in psychology**. [S.l.]: North-Holland, 1994. v. 107p. 1–14.

TSIGA, Z.; EMES, M.; SMITH, A. Attitudes to risk management in space projects. **The Journal of Modern Project Management**, v. 4, n. 1, 2016.

TUMER, I. Y.; STONE, R. B. Mapping function to failure mode during component development. **Research in Engineering Design**, v. 14, n. 1, p. 25–33, 2003.

- TVERSKY, A.; FOX, C. R. Weighing risk and uncertainty. **Psychological Review**, v. 102, n. 2, p. 269–283, 1995.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Availability: a heuristic for judging frequency and probability. **Cognitive Psychology**, v. 5, n. 2, p. 207–232, 1973.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. **Science**, v. 185, n. 4157, p. 1124 LP – 1131, 1974.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Rational choice and the framing of decisions. **The Journal of Business**, v. 59, n. 4, p. S251-78, 1986.
- TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Advances in prospect theory: cumulative representation of uncertainty. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 5, n. 4, p. 297–323, 1992.
- UNITED STATES. DEPARTMENT OF DEFENSE. **Risk, issue, and opportunity management guide for defense acquisition programs**. Washington, 2017. Disponível em: <<http://acqnotes.com/wp-content/uploads/2017/07/DoD-Risk-Issue-and-Opportunity-Management-Guide-Jan-2017.pdf>>.
- USLANER, E. M. Democracy and social capital. In: WARREN, M. E. E. (Ed.). **Democracy and trust**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1999. p. 121–150.
- VAN AKEN, J.; CHANDRASEKARAN, A.; HALMAN, J. Conducting and publishing design science research. **Journal of Operations Management**, v. 47–48, n. 1, p. 1–8, 2016.
- VAN BOSSUYT, D.; HOYLE, C.; TUMER, I. Y.; MALAK, R.; DOOLEN, T.; DONG, A. Toward an early-phase conceptual system design risk-informed decision making framework. In: INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION, 2012. **Proceedings...** ASME, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1115/IMECE2012-89639>>.
- VAN BOSSUYT, D. L.; DONG, A.; TUMER, I. Y.; CARVALHO, L. On measuring engineering risk attitudes. **Journal of Mechanical Design**, v. 135, n. 12, 2013.
- VAN BOSSUYT, D. L.; TUMER, I. Y.; WALL, S. D. A case for trading risk in complex conceptual design trade studies. **Research in Engineering Design**, v. 24, n. 3, p. 259–275, 2013.
- VERMILLION, S. D.; MALAK, R. J.; SMALLMAN, R.; LINSEY, J. A study on outcome framing and risk attitude in engineering decisions under uncertainty. **Journal of Mechanical Design**, v. 137, n. 8, 2015.
- VISCUSI, W. K.; CHESSON, H. Hopes and fears: the conflicting effects of risk ambiguity. **Theory and Decision**, v. 47, n. 2, p. 157–184, 1999.
- VISSCHERS, V. H. M.; SIEGRIST, M. Differences in risk perception between

hazards and between individuals. In: RAUE, M.; LERMER, E.; STREICHER, B. (Ed.). **Psychological perspectives on risk and risk analysis: theory, models, and applications**. Cham: Springer, 2018. p. 63–80.

WACHINGER, G.; RENN, O.; BEGG, C.; KUHLCHE, C. The risk perception paradox: implications for governance and communication of natural hazards. **Risk Analysis**, v. 33, n. 6, p. 1049–1065, 2013.

WALKER, W. E.; HARREMOËS, P.; ROTMANS, J.; VAN DER SLUIJS, J. P.; VAN ASSELT, M. B. A.; JANSSEN, P.; KRAYER VON KRAUSS, M. P. Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. **Integrated Assessment**, n. 4, p. 5–17, 2003.

WALKER, W. E.; LEMPERT, R. J.; KWAKKEL, J. H. Deep uncertainty. In: GASS, S. I.; FU, M. C. (Ed.). **Encyclopedia of operations research and management science**. Boston, MA: Springer, 2013. p. 395–402.

WALPOLE, H. D.; WILSON, R. S. Extending a broadly applicable measure of risk perception: the case for susceptibility. **Journal of Risk Research**, p. 1–13, 2020.

WANG, C. M.; XU, B. B.; ZHANG, S. J.; CHEN, Y. Q. Influence of personality and risk propensity on risk perception of Chinese construction project managers. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1294–1304, 2016.

WÄRNERYD, K. E. Risk attitudes and risky behavior. **Journal of Economic Psychology**, v. 17, n. 6, p. 749–770, 1996.

WATSON, D.; FRIEND, R. **Measurement of social-evaluative anxiety**. US: American Psychological Association, 1969.

WEBER, E. U. Risk attitude and preference. **WIREs Cognitive Science**, v. 1, n. 1, p. 79–88, 2010.

WEBER, E. U.; BLAIS, A.-R.; BETZ, N. E. A domain-specific risk-attitude scale: measuring risk perceptions and risk behaviors. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 15, n. 4, p. 263–290, 2002.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1–12, 1993.

WEGNER, D. Systematic approach for the “Preliminary Risk Assessment” for highly complex and innovative space born systems. In: EUROPEAN FMEA CONGRESS, 2019, Viena, Alemanha. **Proceedings...** Viena, Alemanha: 2019.

WEINSTEIN, N. D. Unrealistic optimism about future life events. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 39, n. 5, p. 806–820, 1980.

WERTZ, J.; MILLER, D. Expected productivity-based risk analysis in conceptual design. **Acta Astronautica**, v. 59, n. 1, p. 420–429, 2006.

WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. **Space mission analysis and design**. 3.ed. [S.I.]: Springer, 2011. ISBN(9780792359012).

WESSEN, R.; ADLER, M.; LEISING, C.; SHERWOOD, B. Measuring the maturity of robotic planetary mission concepts. In: AIAA SPACE CONFERENCE & EXPOSITION, 2009. **Proceedings...** AIAA, 2009.

WESSEN, R.; BORDEN, C. S.; ZIEMER, J. K.; MOELLER, R. C.; ERVIN, J.; LANG, J. Space mission concept development using concept maturity levels. In: AIAA SPACE CONFERENCE AND EXPOSITION, 2013. **Proceedings...** AIAA, 2013.

WESSEN, R. R.; PROPSTER, P.; CABLE, M.; CASE, K.; GUETHE, C.; MATOUSEK, S.; NASH, A.; ZIEMER, J. Developing compelling and science-focused mission concepts for NASA competed mission proposals. **Acta Astronautica**, v. 191, p. 502–509, 2022.

WHYTE, G.; SEBENIUS, J. K. The effect of multiple anchors on anchoring in individual and group judgment. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 69, n. 1, p. 75–85, 1997.

WILLETT, A. H. **The economic theory of risk and insurance**. [S.I.]: University of Pennsylvania Press, 1901. ISBN(9781512808995).

WILSON, R. S.; ZWICKLE, A.; WALPOLE, H. Developing a broadly applicable measure of risk perception. **Risk Analysis**, v. 39, n. 4, p. 777–791, 2019.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING (EASE), 18., 2014, New York, USA. **Proceedings...** New York, USA: ACM Press, 2014. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2601248.2601268>>.

WOHLIN, C.; KALINOWSKI, M.; ROMERO FELIZARDO, K.; MENDES, E. Successful combination of database search and snowballing for identification of primary studies in systematic literature studies. **Information and Software Technology**, v. 147, p. 106908, 2022.

XAVIER JR, A.; VELOSO, A.; SOUZA, J.; KALED CÁS, P.; CAPPELLETTI, C. AEB Online Calculator for Assessing Technology Maturity: IMATEC. **Journal of Aerospace Technology and Management**, n. 12, 2020.

YEO, K. T.; REN, Y. Risk management capability maturity model for complex product systems (CoPS) projects. **Systems Engineering**, v. 12, n. 4, p. 275–294, 2009.

ZADEH, L. A. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. **Fuzzy Sets**

and Systems, v. 1, n. 1, p. 3–28, 1978.

ZAJONC, R. B. Feeling and thinking: preferences need no inferences. **American Psychologist**, v. 35, n. 2, p. 151–175, 1980.

ZHANG, D. C.; HIGHHOUSE, S.; NYE, C. D. Development and validation of the General Risk Propensity Scale (GRiPS). **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 32, n. 2, p. 152–167, 2018.

ZHANG, G. **A novel meta-synthesis approach to technology maturity management for project risk control**. University of Strathclyde, 2019. Disponivel em: <<https://stax.strath.ac.uk/concern/theses/3r074t95s?locale=en>>.

ZHANG, Y.; FISHBACH, A.; DHAR, R. When thinking beats doing: the role of optimistic expectations in goal-based choice. **Journal of Consumer Research**, p. 567–578, 2007.

ZIEMER, J. K.; WESSEN, R. R.; JOHNSON, P. V. Exploring the science trade space with the JPL innovation foundry A-team. In: SYSTEMS ENGINEERING AND CONCURRENT ENGINEERING FOR SPACE APPLICATIONS (SECESA), 2016. **Proceedings...** 2016.

ZIO, E. On the use of the analytic hierarchy process in the aggregation of expert judgments. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 53, n. 2, p. 127–138, 1996.

ZIO, E. The future of risk assessment. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 177, p. 176–190, 2018.

ZYPHUR, M. J.; NARAYANAN, J.; ARVEY, R. D.; ALEXANDER, G. J. The genetics of economic risk preferences. **Journal of Behavioral Decision Making**, v. 22, n. 4, p. 367–377, 2009.

APÊNDICE A – REVISÃO HISTÓRICA DO RISCO

Tabela A.1 – Descrição das contribuições dos principais atores/pesquisadores relacionadas à área de Análise de Riscos.

Ator	Descrição de contribuição principal
Grupo Asipu – 3200 A.C.	Primeira instância reconhecida de análise de risco, na civilização Babilônica. Grupo era reconhecido para consultas sobre o destino, quanto decisões sob risco e incerteza, através da leitura dos sinais dos Deuses e recomendação da alternativa mais favorável (COVELLO; MUMPOWER, 1985; TRIMPOP, 1994).
Código de Hammurabi – 1950 A.C.	O código de Hammurabi estabelecia doutrinas de gerenciamento de risco rudimentares para transportes marítimos (<i>bottomry</i>) que formaram a base para a institucionalização de seguros (JOHNS, 1904; TRIMPOP, 1994).
Arnobius, the Elder – 400 D.C.	Propôs uma matriz de decisão 2x2 sobre as consequências da alma de um indivíduo quanto a crença ou não sobre a aceitação de Deus (Cristianismo), na sua obra <i>Against the Pagans</i> como uma tentativa de comprovação de sua conversão ao Cristianismo (COVELLO; MUMPOWER, 1985; TRIMPOP, 1994).
Leonardo Pisano – 1202 D.C.	Introdução do sistema numérico hindu-arábico no ocidente (Europa). É considerado um importante marco por incentivar o pensamento abstrato (BERNSTEIN, 1998).
Franciscan Monk Luca Paccioli – 1494	Introduz o “ <i>problem of the points</i> ” (divisão de apostas em um jogo inacabado) que vem a ser o motivador para a definição da teoria de probabilidade (valor esperado) (ORE, 1960; BERNSTEIN, 1998; HACKING, 2006; SINGPURWALLA, 2006).
Gerolamo Cardano –1565	Introduz a noção de eventos aleatórios e estatística através de experimentos com jogo de dados (BERNSTEIN, 1998; SINGPURWALLA, 2006).
Chavalier de Méré; Blaise Pascal; Pierre de Fermat – 1654	Definição da teoria de probabilidade através da solução do “ <i>problem of the points</i> ”. Formalização de probabilidade numérica [0-1], restrito a jogos de chance de forma estática (<i>fair price</i>). Teoria Clássica de probabilidade (absoluta) (ORE, 1960; BERNSTEIN, 1998; HACKING, 2006; SINGPURWALLA, 2006).
John Graunt– 1662	Reconhecido como a primeira tentativa de calcular probabilidades empíricas sobre expectativa de vida (tábuas de mortalidade), diferente de aplicações em jogos de chance. Noções sobre amostragem e base para seguros de vida (ideia de gerenciamento de risco, entretanto, apenas emergiu quando a humanidade absorveu a ideia de ser agentes livres para tomadas de decisões e influenciam os resultados) (BERNSTEIN, 1998; HACKING, 2006).
Arnauld and Nicole (Port Royal) – 1662	Introduz a noção de rodadas de um jogo e argumentos sobre uma opinião (direcionamento do jogo), ou seja, decisões devem envolver a força pela busca de um resultado particular (base para teoria da utilidade) (SINGPURWALLA, 2006).
Jakob Bernoulli – 1713	Introduz a conexão entre probabilidade “ <i>fair price</i> ” (estático) com a noção de probabilidade de crença – “ <i>belief</i> ” (futuro). Expande o uso de probabilidade para outros problemas além de jogos de chance. Introduz regras numéricas para combinação de argumentos e rodadas. Formula a Lei dos Grandes Números, através do reconhecimento que em problemas práticos (além dos jogos de chance) o “ <i>fair price</i> ” não poderia ser deduzido de premissas sobre possibilidades iguais, portanto, deveriam ser definidas aproximadamente através de observações. Introduz a importância da qualidade das informações para inferência (STIGLER, 1986; BERNSTEIN, 1998; SINGPURWALLA, 2006).
Daniel Bernoulli – 1731	Definiu as primeiras ideias sobre utilidade como critério para tomadas de decisão em críticas a abordagem de valor esperado (“the value of an item must not be based on its price, but rather on the utility that it yields”). Solucionou o Paradoxo de St. Peterburgo, introduzindo os valores do decisor no processo. Maximização de utilidade esperada (racionalidade) (BERNOULLI, 1954; BERNSTEIN, 1998).
Abraham de Moivre – 1718	Propôs a distribuição normal de probabilidade (<i>bell curve</i>) e o conceito de desvio padrão. Importância de suficiência de amostragem, tema central no gerenciamento de riscos. Introduziu o conceito de eventos aleatórios independentes (a partir da teoria inicial de frequência de Jakob Bernoulli) (STIGLER, 1986; BERNSTEIN, 1998; SINGPURWALLA, 2006).

continua

Tabela A.1 – Conclusão.

Thomas Bayes – 1763	Investigações no problema inverso de Jacob Bernoulli (<i>inverse probability</i>) resultaram em um sistema para utilizar novas informações para redefinir probabilidades (<i>compare posterior probability with the priors</i>). Abriu espaço para as discussões sobre incerteza até aquela época, desconhecido (SINGPURWALLA, 2006).
Pierre-Simon LaPlace – 1774	Interpretação subjetiva do Teorema de Bayes para inferência de parâmetros de distribuições estatísticas ao invés de variáveis aleatórias. Esse método, assume que um comportamento similar da distribuição anterior é seguido no futuro (state of belief). <i>Law of total probability</i> (STIGLER, 1986).
Jeremy Bentham – 1780	É reconhecido como o fundador do utilitarismo moderno com a interpretação de utilidade como uma propriedade em qualquer objeto que tende a produzir benefício, vantagem ou facilidade (<i>felicific calculus</i>) (BENTHAM, 1780).
John Venn – 1866	Axiomas da interpretação de frequência relativa de probabilidade (SINGPURWALLA, 2006).
Francis Galton – 1875	Princípio de Regressão à Média (FORREST, 1974).
Henri Poincaré; Louis Bachelier – 1900	Tentativas de explicação do porquê frequências empíricas aproximadamente reproduzem frequências matemáticas (distribuições seguem aproximadamente a distribuição normal) (STIGUM; WENSTØP, 2013).
Frank Knight – 1921	Distinção entre risco e incerteza. Onde incerteza é a falta de qualquer conhecimento quantificável sobre possíveis resultados (KNIGHT, 1921; LEROY; SINGELL, 1987; MOUSAVI; GIGERENZER, 2014).
John Maynard Keynes – 1921	Também distingue entre risco e incerteza (<i>definable/undefinable</i>). Utiliza a interpretação de probabilidade lógica, onde probabilidade é resultado de uma relação lógica entre uma conclusão e conjunto de evidências (<i>argument</i>) (KEYNES, 1978; LAWSON, 1985; BATEMAN, 1987; RUNDE, 1990; FEDUZI, 2010).
Bruno de Finetti – 1930; Frank Plumpton Ramsey – 1931; Leonard Savage – 1948/1954	Interpretação subjetiva de probabilidade. De Finetti defendia a interpretação de apostas, enquanto Ramsey adotou o <i>coherence principle</i> (teoria da psicologia) (DE FINETTI, 1937, 1992; GALAVOTTI, 2000; SINGPURWALLA, 2006; AVEN; RENIERS, 2013).
Hebert Alexander Simon – 1957	Desafiou a teoria da Economia sobre maximização racional de utilidade, com a teoria de satisfação (<i>satisficing</i>) e as limitações humanas de habilidade computacional e capacidade de memória (<i>bounded rationality</i>) (SIMON, 1987, 1996, 1997; FRANTZ, 2003; FEDUZI; RUNDE, 2014).
Chauncey Starr; Paul Slovic - 1962, Baruch Fishoff - 1975, Sarah Lichtenstein – 1960	Paradigmas psicométricos, psicologia do risco (COVELLO, 1983; RENN, 1990b; TRIMPOP, 1994; ALTHAUS, 2005; WILSON; ZWICKLE; WALPOLE, 2019).
Roger Kasperon – 1966; Ortwin Renn - 1980	Teorias das Ciências sociais ao risco: amplificação social de risco, interações entre psicologia, aspectos sociais e culturais (KASPERSON et al., 1988; RENN et al., 1992).
Daniel Kahneman e Amos Tversky – 1979	Teoria da Perspectiva, Programa de heurísticas e vieses (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974, 1992; KAHNEMAN; TVERSKY, 1979; COVELLO, 1983; RENN, 1990b; KAHNEMAN, 2003a; ALTHAUS, 2005).
Gerd Gigerenzer – 1987	<i>Fast and frugal heuristics</i> (GIGERENZER; HERTWIG; PACHUR, 2011; MOUSAVI; GIGERENZER, 2014; NETH; GIGERENZER, 2015).

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE B - REVISÃO DAS TEORIAS E INTERPRETAÇÕES DE PROBABILIDADE

Esse apêndice apresenta a revisão teórica sobre as interpretações de probabilidade, conforme revisão da literatura realizada.

Na virada do século 18, probabilidade havia progredido enormemente e ampliado seu escopo consideravelmente, facilitado pelo cálculo combinatorial e estudos em estatística e demografia. Nesta época, um grande progresso foi realizado pelos cientistas suíços da família Bernoulli. Jakob Bernoulli, autor de *Ars Conjectandi* (1713) apresentou a Lei dos Grandes Números contendo o primeiro teorema de limites permitindo a análise de probabilidade direta, isto é, probabilidade atribuída a uma amostra retirada de uma população da qual sua lei (distribuição) é conhecida (GALAVOTTI, 2017). Outros membros da família como Nikolaus e Daniel Bernoulli também realizaram contribuições importantes na análise de expectativa matemática e deram origem as pesquisas da distribuição de erros em observações.

Os resultados obtidos na segunda metade do século 18 por Thomas Bayes, através de pesquisas de probabilidade inversa, isto é, probabilidade atribuída a uma hipótese com base em um corpo de evidências, denominada e reconhecida por Teorema de Bayes provê uma ferramenta para combinar raciocínio indutivo com probabilidade e é considerado um importante fundamento para a inferência estatística (GALAVOTTI, 2017).

Ao longo do século 18 outros importantes progressos foram realizados como Adolphe Quetelet em pesquisas de distribuições estatísticas, Francis Galton e, posteriormente, Karl Pearson e outros moldaram a estatística moderna desenvolvendo as análises de correlação e regressão e métodos para avaliar hipóteses estatísticas contra dados experimentais. Também, a extensão do método de testes para a comparação entre duas hipóteses alternativas iniciadas por Ronald Fisher, Jerzy Neyman e Egon Pearson (GALAVOTTI, 2017).

Em paralelo, a probabilidade também foi aplicada nas ciências naturais como constituinte da física. Como Robert Brown em movimento de partículas suspensas em fluidos, James Clerk Maxwell, Ludwig Boltzmann e Josiah W.

Gibbs na caracterização de fenômenos físicos complexos como teoria da cinética de gases e termodinâmica, Albert Einstein, Max Planck e outros na análise de radiação que levou a formulação da mecânica quântica (GALAVOTTI, 2017).

B.1 Probabilidade clássica

A interpretação clássica, que tem raízes nas teorias de Laplace de 1812 (*Théorie analytique des probabilités*) e 1814 (*Essai philosophique sur les probabilités*), utiliza como fundamento a mecânica Newtoniana (GALAVOTTI, 2017). O elemento fundamental na concepção de Laplace é o determinismo, onde a probabilidade adquire um significado epistêmico, resultado da limitação intrínseca do conhecimento humano. Determinismo é a doutrina onde causalidade é regra dominante do universo, na qual a história é uma longa cadeia causal onde cada estado é determinado por um precedente. Laplace acreditava que a mente humana é incapaz de compreender todas as conexões da rede causal que sustenta o universo, porém pode-se imaginar uma inteligência superior, capaz de absorver todos os detalhes e para tal não existiria incerteza. Entretanto, tal abrangente conhecimento permanece fora do alcance e o homem pode aumentar seu conhecimento usando probabilidade. Tornou necessário pela falta de conhecimento completo, probabilidade é aplicada com a informação disponível, assim Laplace propõe que o valor de probabilidade corresponde a razão do número de favoráveis pelo número total de casos possíveis. Esta é conhecida pela interpretação clássica de probabilidade que tem como fundamento o julgamento que, na ausência de informação que poderia dar razão para acreditar de forma diferente, as possibilidades de ocorrência de um evento são iguais. Este é conhecido como o *princípio da razão insuficiente* ou *princípio da indiferença* (AVEN; RENIERS, 2013). Assim, para determinar a probabilidade, casos igualmente possíveis levam a equiprobabilidade ou distribuição uniforme a priori (GALAVOTTI, 2017).

Segundo Aven e Reniers (AVEN; RENIERS, 2013) e Galavotti (2017), Laplace também limitou o uso de probabilidade quanto ao método "regra de Laplace" ou "regra de sucessão" onde a probabilidade de um dado evento deve ser inferida

do número de casos na qual o mesmo evento foi observado ocorrendo, isto é, de forma independente. A distribuição uniforme e princípio da indiferença provocaram sérios debates. As dificuldades mais sérias ocorrem em relação a problemas envolvendo um número infinito de possibilidades, neste caso, a teoria clássica pode levar a valores de probabilidade incompatíveis, problema conhecido como "*paradoxos de Bertrand*". Em vista destas e outras dificuldades, autores se voltaram a interpretação frequentista de probabilidade.

Assim a interpretação clássica é aplicável somente em situações com número finito de resultados que tem igualmente probabilidade de ocorrência. A probabilidade de "A" ($P(A)$) é igual à razão entre o número de resultados "A" e o número total de resultados conforme a Equação B.1.

$$P(A) = \frac{\text{Número de resultados } A}{\text{Número total de resultados}} \quad (\text{B.1})$$

B.2 Probabilidade de frequência relativa (*frequentist probabilities*)

Probabilidade é definida como o limite da frequência relativa de um dado atributo, observado na parte inicial de uma indefinidamente longa sequência de eventos repetitivos. A premissa principal que sustenta esta teoria é que experimentos que geram frequências podem ser reproduzidos em condições idênticas e gerar resultados independentes. Assim, para se caracterizar como um fenômeno em massa qualificado para utilização da teoria frequentista, este deve ser apto a ser indefinidamente prolongado, exibir frequências tendendo a um limite e deve ser aleatório (insensível a "*place selection*" - "*principle of the impossibility of a gambling system*" (EAGLE, 2021). Esta teoria teve como precursores *Robert Leslie Ellis* e *John Venn* no século 19 e atingiu seu auge com *Richard Von Mises* (GALAVOTTI, 2017).

Probabilidade é definida como a fração de vezes que "A" ocorre se a situação considerada fosse repetida (hipoteticamente) um número infinito de vezes. Se o experimento é realizado "n" vezes e o evento "A" ocorre "n_A" vezes, "P_f(A)" é igual ao limite de "n_A/n" com "n" tendendo a infinito (tacitamente assumindo que esse

limite existe), ou seja, com o número de experimentos crescendo até infinito, conforme a Equação B.2.

$$P_f(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_A}{n} \quad (\text{B.2})$$

A probabilidade de frequência relativa é, portanto, uma quantidade construída pela mente, conforme Galavotti (2017) a objeção básica do caráter operacional desta teoria é que sequencias infinitas nunca serão obtidas. É um conceito de modelo fundado na Lei dos Grandes Números (*Law of Large Numbers - LLN*) afirmando que frequências “ n_A/n ” convergem para um limite dentro de certas condições. Infelizmente essas condições, por si próprias, apelam para probabilidade – é necessário assumir que a probabilidade do evento “A” existe e é a mesma para todos os experimentos e, ainda, os experimentos são independentes. Para resolver esse problema de circularidade, diferentes abordagens foram propostas, a mais aceita para probabilidade aplicada se inicia com os axiomas de Kolmogorov (axiomas da probabilidade: não-negatividade, normalização, aditividade finita e contável) e probabilidade condicional (AVEN; RENIERS, 2013).

A utilização da probabilidade de frequência relativa não é trivial e muitos aspectos podem ser questionáveis como: repetibilidade de experimentos, similaridade da população e experimentos, tamanho da população, níveis de variação aceitáveis, níveis de similaridade (macro e micro). É necessário o entendimento e definição de probabilidade de frequência relativa a ser utilizada, através da apresentação das incertezas e estimativas presumidas. As incertezas podem ser avaliadas através de métodos estatísticos tradicionais ou probabilidade subjetiva.

Segundo Galavotti (2017), a utilização da teoria frequencista para sequencias finitas pode ser aplicável, porém não é logicamente definível e nunca será suficientemente exata na prática. A aplicação em eventos singulares não tem sentido, originando o "*single case problem*" que posteriormente foi tentativamente resolvido por *Hans Reichenbach* com uma versão frequencista mais flexível que Von Mises e uma noção mais fraca de aleatoriedade

"*psychological randomness*" e também da noção de limites "*practical limits*", porém esta veio a falhar quanto a predição de eventos incertos e sofreu dificuldades quanto ao atendimento dos critérios de homogeneidade ao propor a utilização de classes de referência.

A interpretação de propensão assume que a probabilidade deve ser entendida como uma característica física, uma propensão de uma configuração experimental que produz resultados com limitações da probabilidade de frequência relativa. Esta interpretação também é conhecida como chance, onde este entendimento é usado para explicar porque os mesmos resultados são obtidos de certo experimento (AVEN; RENIERS, 2013).

A teoria de propensão foi apresentada por *Karl Raimund Popper* no final dos anos 50 para solucionar o "*single case problem*" com utilização da mecânica quântica. A ideia de Popper é que probabilidade deveria ser entendida como uma propriedade de disposição da configuração experimental ou a condição geradora de experimentos, viável de ser reproduzido muitas vezes a fim de formar uma sequência (GALAVOTTI, 2017).

Nos anos 80s Popper retomou a noção de propensão tornando-a foco de uma visão metafísica contemplando todos os tipos de tendências probabilísticas operando no mundo. Neste ponto, Popper considerava a teoria de propensão não somente a solução do "*single case problem*" mas também o núcleo de uma visão objetiva da probabilidade sustentando uma visão indeterminista do mundo (GALAVOTTI, 2017).

Entretanto, esta interpretação também sofre críticas. Esta também enfrenta o problema de referência de classe que afeta a visão frequencista. Enquanto a visão frequencista necessita utilizar uma classe de referência incluindo todas as propriedades relevantes, a prerrogativa da visão de propensão requer uma descrição completa da configuração experimental, assim, o problema de identificação de um conjunto completo de informações é somente contornado, mas não resolvido. Outra crítica é quanto sua inaplicabilidade as regras de Bayes, o caráter disposicional da propensão confere uma assimetria peculiar que

vai em direção contrária da caracterização da probabilidade inversa (GALAVOTTI, 2017).

B.3 Probabilidade lógica

A probabilidade expressa uma relação lógica objetiva entre proposições, um tipo de "envolvimento parcial". Existe um número no intervalo $[0,1]$, denotado " $P(h|e)$ ", que mede o grau de objetividade de suporte lógico que a evidência "e" dá a hipótese "h". Entretanto, o conceito de envolvimento parcial nunca recebeu uma interpretação satisfatória. Utilizando probabilidade lógica não fica claro como é possível interpretar um número comparado com outro e a transformação, a partir da evidência, para a probabilidade objetiva sempre apresentará elementos subjetivos, assim, este tipo de probabilidade não é adequado para utilização (AVEN; RENIERS, 2013).

A probabilidade é uma relação lógica entre duas proposições, uma a qual descreve o corpo de evidências e outro a hipótese. A natureza lógica de probabilidade utiliza um caráter racional e visa uma caracterização objetiva desta lógica. Ideias iniciais foram apresentadas por Leibniz, adotadas por Bernard Bolzano e apresentadas por Augustus de Morgan, George Boole, William Stanley Jevons e John Maynard Keynes. A mais notável versão do logicismo é devido a Rudolf Carnap, que fez a probabilidade o objeto da lógica indutiva (*logicism confirmation*) como uma ferramenta para realizar a melhor estimativa de probabilidade com base em evidências e suporte para decisões racionais. Entretanto, o requisito de utilizar toda informação relevante disponível, chamado "*total evidence*", é semelhante a problemática de Reichenbach com o requisito de homogeneidade de classes de referência além de que na prática, qualquer um dificilmente estará seguro de ter considerado toda evidência relevante (GALAVOTTI, 2017).

B.4 Probabilidade subjetiva

É uma medida subjetiva de incerteza, expressando incerteza, variações e crenças (GALAVOTTI, 2017). Para medir o grau de crença (*degree of belief*), que é assumido como uma noção primitiva, uma definição operacional deve ser adotada. Segundo Aven e Reniers (AVEN; RENIERS, 2013) duas das mais

comuns interpretações são apostas (*betting*) e com base em um padrão de incerteza, definidas abaixo:

- *Interpretação de apostas e tipos relacionados:*

A teoria subjetiva de apostas iniciou no século 17 (GALAVOTTI, 2017) e atingiu seu ápice com as contribuições independentes por *Bruno de Finetti* (utilizando regra de Bayes em conjunto com permutabilidade) e *Frank Plumpton Ramsey* (utilizando mudança de referência de dinheiro para bens e condição de coerência) na tentativa de circunscrever os problemas de diminuição da utilidade marginal de dinheiro e o fato de que pessoas diferentes podem adotar diferentes atitudes diante de apostas.

A probabilidade de um evento “A”, “ $P(A)$ ”, é igual à quantidade de dinheiro (fração do prêmio) que um indivíduo está pretendendo apostar se ele fosse receber uma única unidade de pagamento no caso de ocorrência do evento “A” e nada caso contrário. Uma forma alternativa de expressar a mesma ideia é: a probabilidade de um evento é o preço (fração da unidade de pagamento) pela qual a pessoa assumindo a probabilidade é neutra entre comprar um bilhete (chance) cujo ganho é uma unidade de pagamento se o evento ocorrer e nada caso contrário, também conhecido como *certainty equivalent* (AVEN, 2012b).

Esta interpretação depende do quanto é importante o ganho e este julgamento de valor não possui relação alguma com as incertezas ou nosso grau de crença na ocorrência do evento A. Observa-se que esta interpretação tem base em uma mistura de avaliação de incertezas e julgamento de valores. Este fato torna este o de vista da probabilidade subjetiva com interpretação de aposta problemático em sua utilização prática, pois esta abordagem conflita o princípio básico da separação entre a análise e julgamento de valor (AVEN; RENIERS, 2013).

Aven e Reniers (AVEN; RENIERS, 2013) apontam que um decisor gostaria de ser informado, pelo especialista que está analisando o risco, se este especialista está expressando sua opinião na probabilidade subjetiva, porém, o decisor não ficaria satisfeito se o especialista estiver usando a interpretação de apostas, pois, nesta interpretação o especialista vincula diretamente os seus valores individuais na probabilidade.

A contribuição de *Bruno de Finetti* levou a convergência entre graus de crença e frequências observadas. Ao utilizar a regra de Bayes, com relação a mudança de probabilidades a priori para a posteriori sempre envolverá o julgamento pessoal. Assim, admitindo a possibilidade de que um conjunto de evidências pode gerar diferentes probabilidades. Esta perspectiva desafia os defensores do frequentismo e é contrastante com a interpretação lógica, pois esta considera que existe somente uma probabilidade correta (racional) para determinado conjunto de evidências (GALAVOTTI, 2017).

Diferentemente de interpretar que probabilidade subjetiva pode assumir qualquer valor desde que coerência seja satisfeita, *de Finetti* enfatizou que a avaliação de probabilidade deveria levar em consideração toda evidência factual disponível, incluindo frequências e assimetrias representando as evidências de dados conhecidos e fatos e, adicionalmente, os elementos subjetivos consistindo da opinião relativa a fatos desconhecidos com base em evidências conhecidas (GALAVOTTI, 2017).

A componente subjetiva é considerada um pré-requisito para a avaliação dos elementos objetivos pelo fato de que a coleta e exploração das evidências factuais envolvem elementos subjetivos, como escolha dos elementos a serem considerados. Além disso, em muitas situações a competência e experiência do avaliador podem influenciar o julgamento de probabilidade de várias formas. Além disso, *de Finetti* defendia que a avaliação de probabilidade não deve ser confundida com sua definição, para os mesmos, existem definições diferentes e não devem ser misturadas, o que ele denominou de “*original sin*”. Quando escolhido a mesma definição para o conceito e a avaliação de probabilidade, torna-se uma atitude rígida que leva a uma função unívoca. Enquanto a interpretação subjetiva é considerada elástica no sentido de que não se compromete com a escolha de uma função particular para uma única regra ou método. Enquanto considera-se a avaliação de probabilidade como um procedimento complexo, resultado da concorrência entre elementos objetivos e subjetivos, *de Finetti* rejeita o objetivismo, mas mantém objetividade (GALAVOTTI, 2017).

- *Interpretação com base em um modelo/padrão de incerteza:*

Esta interpretação relaciona probabilidade subjetiva com um modelo de incerteza, isto é, independente dos valores do especialista que analisa o risco. O pesquisador Dennis Lindley é um dos principais autores desta interpretação e relaciona sua teoria ao modelo de retirar uma esfera numerada de uma urna de sorteio com o seguinte raciocínio: se um indivíduo assume a probabilidade de 0,1 para um evento "A", este indivíduo compara a incerteza (grau de crença) de ocorrência de "A" com a extração de uma esfera numerada específica de uma urna de sorteio contendo o total de 10 esferas. Através deste padrão, é possível deduzir um conjunto de regras ou axiomas (AVEN; RENIERS, 2013).

A interpretação com base em um modelo de incerteza de Dennis Lindley é uma forma compreensível, fácil de definir e de interpretar a probabilidade subjetiva com base em uma separação entre incerteza (probabilidade) e utilidade (valores) (AVEN; RENIERS, 2013).

Probabilidade imprecisa (intervalo) é uma interpretação imprecisa sobre uma probabilidade (e.g., probabilidade $P(A)=0,3$ representa o intervalo [0,26 a 0,34]). Neste tipo de probabilidade o avaliador não deseja ou não é possível fazer maiores julgamentos sobre a probabilidade a fim de obter uma precisão maior (AVEN; RENIERS, 2013).

Existem autores contra o uso da probabilidade imprecisa que argumentam que o uso de um intervalo aumenta a complexidade de sua utilização e confunde o conceito de interpretação com a prática de procedimentos de medidas. Entretanto, outros autores como Terje Aven (AVEN, 2010) e Didier Dubois (DUBOIS; PRADE, 2001) tem uma visão positiva sobre o uso de intervalos (probabilidade imprecisa), argumentando que sua utilização é dependente do uso da precisão da probabilidade adotada.

Segundo (AVEN, 2010) o objetivo da análise de risco subjetiva é expressar julgamentos subjetivos do avaliador, dado o seu conhecimento e experiência e, assim, deve-se utilizar um valor de probabilidade exato, entretanto, caso se busque a obtenção de uma descrição de conhecimento "inter-subjetivo" de

quantidades estudadas desconhecidas, o uso de probabilidade imprecisa pode adicionar informação e ajudar na tomada de decisão ou entendimento do risco.

Segundo Aven e Reniers (AVEN; RENIERS, 2013) probabilidade imprecisa necessita maior desenvolvimento, existe uma gama de orientação matemática na literatura, porém, há pouca discussão sobre como intervalos devem ser utilizados no sentido prático.

Tversky e Kahneman (1974) apresentam críticas à teoria de decisão racional, como resultado das análises empíricas de vieses cognitivos para o julgamento de probabilidades, quanto ao entendimento do conceito de probabilidade subjetiva. Na teoria de decisão racional, probabilidade subjetiva é a opinião quantificada de um agente idealizado, mais especificamente, probabilidade subjetiva é definida pelo conjunto de apostas sobre um determinado evento que uma pessoa está disposta a aceitar, considerando uma consistência interna. Entretanto, probabilidade subjetiva nem sempre pode ser inferida por preferências entre apostas, pois normalmente não são formados desta maneira. Uma pessoa aposta em uma determinada alternativa porque acredita ter maior probabilidade de ganho, e não inferindo esta crença através de sua preferência de apostas. Assim, na realidade, probabilidade subjetiva determina as preferências entre apostas e não ao contrário, como sendo derivada das preferências conforme a teoria de decisão racional.

APÊNDICE C – LINHAS DE PESQUISA, MODELOS E ABORDAGENS DE MEDIDA OU REPRESENTAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE RISCO

A primeira linha de pesquisa de percepção de risco, sobre os paradigmas psicométricos foram explorados inicialmente por Starr (1969), Fischhoff et al. (1978) e Slovic (1987) e usam técnicas de análise multivariáveis e escalonamento para produzir representações quantitativas de atitudes e percepção ao risco. Segundo Chauvin (2018), nos testes psicométricos, as pessoas fazem julgamentos quantitativos sobre o nível de risco atual e desejado (e.g., visando uma política regulamentação) de diferentes perigos. Estes julgamentos, por sua vez, são correlacionados com julgamentos qualitativos sobre outras propriedades do risco, conforme exemplos apresentados por (SLOVIC, 2010b):

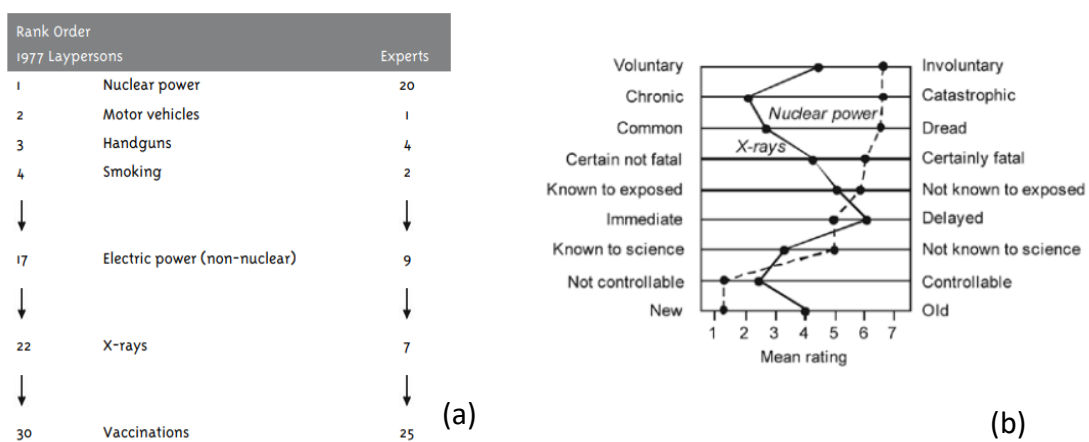
- a) o status do perigo quanto as características que foram estabelecidas como hipóteses para explicar as percepções e atitudes de risco (e.g., voluntariedade, pavor, conhecimento, controlabilidade);
- b) os benefícios que cada perigo provê à sociedade;
- c) número de mortes causadas pelo perigo em média por ano;
- d) número de mortes causadas pelo perigo em um ano desastroso;
- e) seriedade de cada morte de um perigo particular relativo à morte devido outras causas.

Os resultados dos testes psicométricos mostraram repetidamente algumas conclusões, conforme apontadas por Slovic (2010b): (I) o risco percebido é quantificável e previsível; (II) as técnicas psicométricas parecem ser adequadas para identificar similaridades e diferenças entre grupos de pessoas (e.g., especialistas, leigos), com relação a percepção e atitudes ao risco.

Na Figura C.1 (a) é apresentado um exemplo da ordenação de risco percebido para 30 diferentes atividades e tecnologias para dois grupos distintos de pessoas (leigos e especialistas) em 1977; (III) o conceito risco tem significados diferentes para diferentes pessoas (e.g., especialistas correlacionam risco a estimativas técnicas, enquanto pessoas leigas utilizam outras características como potencial

catastrófico e ameaças a futuras gerações); (IV) cada perigo possui um padrão de características qualitativas que parece estar relacionado ao risco percebido. Em um estudo específico de Fischhoff et al. (1978) a energia nuclear foi julgada com maior risco do que a tecnologia raios-x e a avaliação qualitativa de características do risco resultou no diagrama apresentado na Figura C.1 (b), onde é possível identificar uma relação do nível de risco percebido e certas características de risco (denominado perfil de risco).

Figura C.1 - Resultados de estudos psicométricos por ordenação de riscos percebidos (a) e características qualitativas associadas aos perigos da tecnologia raios-x e energia nuclear (b).



Fonte: Adaptada de Slovic (2010b) e Fischhoff et al. (1978).

Algumas características qualitativas de risco, que formam os perfis de perigos, apresentaram alta correlação na análise de diversos perigos como, por exemplo, perigos julgados voluntários tendem a ser julgados como controláveis e bem conhecidos (SLOVIC, 2010b). Segundo Chauvin (2018) e Nyre e Jaatun (2013), a investigação das interrelações entre os fatores indicou que um domínio mais amplo de características poderia ser condensado em um conjunto menor de características e que parte substancial da variabilidade na avaliação de riscos pode ser explicada pela combinação desses fatores.

A distribuição de perigos apresentada na Figura C.2 mostra o resultado de diversos estudos psicométricos realizados para 81 perigos (SLOVIC; FISCHHOFF; LICHTENSTEIN, 1982). O fator1, denominado "risco terrível", representa a percepção de falta de controle, pavor, potencial catastrófico, de

consequências fatais e desigualdade na distribuição de risco-benefícios para sociedade. Enquanto o Fator2 denominado "riscos desconhecidos" representa o julgamento de perigos não observáveis, desconhecidos, novos e com manifestação de danos posterior (SLOVIC, 2010b). Os pesquisadores Slovic P., Fischhoff B., Lichtenstein F. (SLOVIC; FISCHHOFF; LICHTENSTEIN, 1981) mostraram que a percepção e atitude ao risco de pessoas leigas é relacionada, aproximadamente, a posição do perigo no espaço de fatores do diagrama, enquanto especialistas aparentemente veem riscos como sinônimo de mortalidade anual esperada, ou seja, relacionado aos dados estatísticos. Como resultado, existem muitos conflitos sobre riscos entre leigos e especialistas.

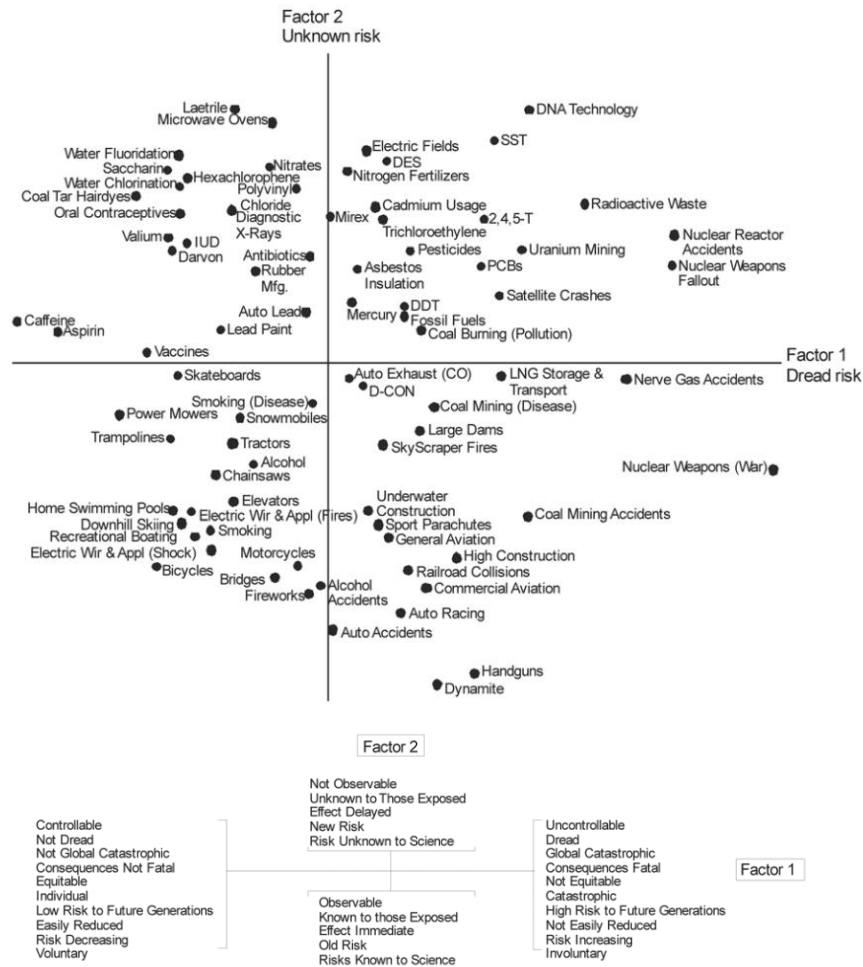
A outra linha de pesquisa de percepção de risco, que busca o entendimento do porquê diferentes pessoas julgam algumas atividades perigosas de forma distinta, tem como foco a exploração das características pessoais e os fatores que explicam essas diferenças como, por exemplo, características sociodemográficas e socioculturais (e.g., gênero, idade, etnia, nível de educação, nível de renda) (CHAUVIN, 2018) ou fatores sócio-políticos (e.g., benefício percebido, confiança, conhecimento, associações afetivas, valores e sentimento de justiça) (VISSCHERS; SIEGRIST, 2018).

Mesmo que algumas pesquisas tenham concluído correlações entre os fatores sociodemográficos, as alternativas de explicação de percepção e atitude ao risco apontam para maior influência de elementos sócio-políticos (FLYNN; SLOVIC; MERTZ, 1994). No mesmo sentido, Slovic (2010b) conclui que as pesquisas orientadas a investigação de fatores sociodemográficos normalmente não têm êxito pois a percepção pública de risco é moldada por questões sociopolíticas. Assim, os conflitos e controvérsias sobre riscos vão além da ciência e estão profundamente enraizados nas questões sociais e políticas da sociedade.

Os aspectos emocionais também são investigados na literatura como parte influenciadora da percepção de risco. Segundo Tompkins et al. (2018), o termo "*risk as feelings*" proposto por Loewenstein et al. (2001) sugere que as pessoas realizam julgamentos sobre riscos com base, ao menos parcialmente, nos seus sentimentos sobre os possíveis perigos e atividades. Evidências da existência

do uso de sentimento no julgamento de riscos surgiram nos primeiros estudos psicométricos de percepção de risco, em Fischhoff et al. (1978) e Slovic (1987), onde foi mostrado que o sentimento de pavor foi o maior determinante da percepção e aceitação de risco para diversos perigos (SLOVIC et al., 2004).

Figura C.2 - Diagrama psicométrico para 81 perigos condensados em quatro áreas definidas a partir de 15 características correlacionadas.

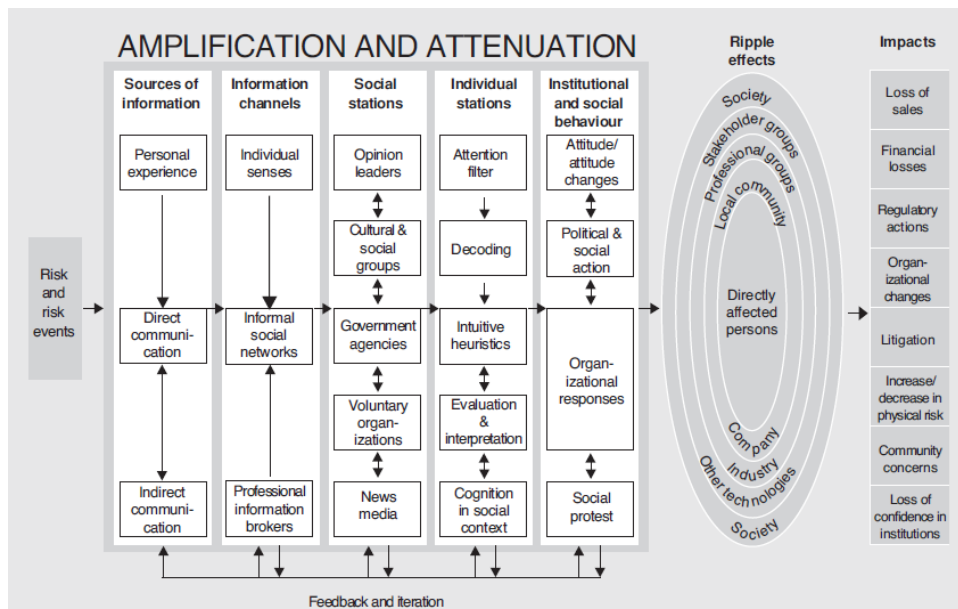


Fonte: Adaptada de Slovic et al. (1982).

A percepção de risco também é impactada por um processo denominado de amplificação social do risco (SARF) (KASPERSON et al., 2022), primeiramente definida em Kasperson et al. (1988). A SARF ocorre quando um evento indesejado reflete na sociedade a percepção de um impacto estendido muito além dos possíveis danos gerados (FJAERAN; AVEN, 2021b). Segundo Renn et al. (1992), este fenômeno gera implicações indiretas como ações litigiosas

contra uma empresa, perda de vendas (contratos) ou maior regulamentação de uma categoria industrial. O evento de amplificação de risco tem analogia ao efeito de ondas geradas por uma perturbação (e.g., jogar uma pedra em uma poça de água), conforme modelo apresentado na Figura C.3, Burns et al. (1990) e Slovic (1987) apresentam diversos mecanismos que contribuem para a SARF, como: (I) cobertura extensiva da mídia sobre um evento; (II) perigo que entra para a agenda de grupos sociais; (III) interpretação de eventos indesejados como pistas ou sinais sobre a magnitude do risco e a adequação do processo de gerenciamento de riscos.

Figura C.3 - Representação do processo de amplificação social do risco.



Fonte: Adaptada de Kasperson et al. (2003).

Os estudos empíricos sobre percepção de risco diferem substancialmente com relação ao conteúdo e metodologias, tipicamente em três dimensões relacionadas a fonte do risco, aspectos de julgamento e aspectos dos participantes, assim, os resultados dependem das características de cada estudo. Segundo Rohrmann e Renn (2000), não é possível obter uma conclusão geral sobre o entendimento e avaliação subjetivos de risco, mas é necessário a realização sistemática de análises para melhorar o entendimento da percepção ao risco humana.

Rohrman e Renn (2000) concluem que o uso de abordagens técnicas e somente quantitativas na análise de risco são inadequadas para refletir o complexo padrão de percepção de risco de indivíduos. A forma como as pessoas pensam sobre a magnitude e aceitabilidade de riscos e como realizam esses julgamentos são influenciadas por conhecimento, valores e sentimentos. As pessoas incluem uma variedade de fatores qualitativos, conforme identificados nos métodos psicométricos (e.g., percepção do número esperado de fatalidades ou perdas, potencial catastrófico, propriedades percebidas da fonte do risco e crenças associadas com a causa do risco) além dos cenários de risco, informações probabilísticas e dados estatísticos. O modelo mental e outros mecanismos psicológicos usados pelas pessoas (e.g., heurísticas cognitivas, confiança em fontes de informações) são internalizadas através de aprendizado social e cultural e constantemente moderados pela mídia, influenciadores ou por outros processos de amplificação.

Considerando a complexidade dos modelos e a diversidade de pesquisas sobre percepção de risco, diferentes formas de medidas ou representação da percepção de risco são apresentadas na literatura. A revisão de literatura realizada por Wilson et al. (2019) aponta que muitas medidas de percepção de risco utilizadas são genéricas, algumas sem embasamento teórico, e não capturam qualquer dimensão afetiva.

A variabilidade dos modelos e medidas encontrados mostram a diversidade de entendimentos da percepção de risco e a necessidade de convergência em um modelo parametrizado a ser utilizado em múltiplas aplicações.

C.1 Formas de medidas de percepção de risco

Wilson et al. (2019) apresentam uma investigação de diferentes modelos apresentados na literatura e concluíram que um método multidimensional para medir a percepção de risco influenciado pelas reações afetivas aos perigos é o mais adequado e aplicável para múltiplos tipos de perigos, desde aqueles que são comportamentais por natureza até os tecnológicos ou naturais.

Os modelos investigados pelos autores foram derivados de uma revisão de literatura e utilizando pesquisas de campo com 300 participantes (para avaliar

as dimensões da percepção de risco em diferentes tipos de perigos) e a realização de testes de hipóteses, apresentou os seguintes resultados:

- a percepção de risco é um conceito ("*construct*") multidimensional;
- o modelo de três fatores mede melhor a percepção de risco que outros modelos, conforme: Percepção de risco = [percepção de probabilidade x percepção de consequências x emoções];
- não há uniformidade quanto ao grau de importância de cada fator nos diferentes perigos investigados, não permitindo uma medida geral de percepção de risco;
- o modelo unidimensional de medida de percepção de risco não é válido e confiável, mesmo assim, quase metade dos modelos de medida de percepção de risco encontrados na revisão de literatura dos autores possuem essa abordagem simplificada.

Com os resultados da pesquisa, Wilson et al. (2019) discutem sobre um modelo a ser investigado em trabalhos futuros e na literatura, onde a percepção de risco global é medida pela combinação da percepção de probabilidade de ocorrência multiplicado (balanceado) pela percepção de consequências, conforme: Percepção de risco = [percepção de probabilidade (exposição + vulnerabilidade) x percepção de consequências (severidade + emoções)].

A percepção de probabilidade é função da probabilidade de ocorrência de um perigo em uma área particular (definido por exposição - "*exposure*") e a exposição da população de interesse para potenciais efeitos negativos (definido por vulnerabilidade - "*vulnerability*"). Enquanto a percepção de consequências é uma função do impacto pessoal percebido dos efeitos negativos (representando pela severidade - "*severity*") e os sentimentos vinculados na potencial experiência (representado pelas emoções - "*affect*").

A revisão de literatura de Wilson et al. (2019) encontrou 81 publicações que apontam diferentes modelos de medidas de percepção de risco. Algumas classes de modelos de medidas de percepção de risco são destacadas:

- Kern et al. (2014), Knuth et al. (2014) e So e Shen (2016) apresentam medidas de percepção de risco considerando componentes emocionais de consequência percebida com foco em componentes deliberativos como frequência percebida (*likelihood*) de experimentar o perigo ou provável exposição;
- Sandman (1989) e Martin et al. (2007) apresentam medidas de percepção de risco considerando a natureza de consequências;
- Ferrer et al. (2016) apresentam uma medida de percepção de risco tripartite (deliberativo, emocional e experimental) para o contexto de saúde e doenças; e
- Cano e Salzberger (2017) apresentam modelos utilizando *Rasch Measurement Theory (RMT)* para medir a percepção latente de um indivíduo.

A Figura C.4 apresenta as questões identificadas na literatura organizadas por categorias (unidimensional e componentes de modelos multidimensionais - emoções, probabilidade e consequências).

Figura C.4 - Questões sugeridas para percepção de risco.

Category	Items
General	
G1	How risky is/are X?
Affect (i.e., concern/emotion)	
E1	How concerned are you (if at all) about X?
E2	When you think about X for a moment, to what extent do you feel fearful?
E3	When you think about X for a moment, to what extent do you feel anxious?
E4	When you think about X for a moment, to what extent do you feel worried?
E5	Considering any potential effects that X might have on you personally, how concerned are you about X?
Probability	
P1	How likely is it that <i>X will occur</i> [you will do X] this year where you live?
P2	I am confident that <i>X will not occur</i> [I will not do X] this year where I live (Reverse)
P3	<i>How often do X occur where you live?</i> [How often do you X?]
Consequences^a (i.e., severity)	
S1	If I did experience X, it is likely that it would negatively impact me
S2	If I did experience X, it would have a severe effect on me personally*

Fonte: Wilson et al. (2019).

Os autores Wilson et al. (2019) defendem que uma medida simples e mais geral de percepção de risco, como "Quanto arriscado é X?" é mais apropriada em alguns casos, por exemplo, quando a percepção de risco é utilizada somente como uma variável de controle ou uma medida geral é suficiente para pesquisas experimentais. Entretanto, quando a medida de percepção de risco é utilizada para justificar ações protetivas (e.g., de mitigação), uma medida multidimensional se faz necessária.

Walpole e Wilson (2020) apresentam uma extensão do trabalho de Wilson et al. (2019), modificando o modelo de medida multidimensional de três fatores investigado através da separação da percepção de probabilidade (de consequências) em dois componentes que significam a probabilidade de ocorrência do perigo (exposição - "*exposure*") e a probabilidade de experimentar as consequências dado a exposição (susceptibilidade - "*susceptibility*"), tornando um modelo de quatro fatores, conforme: Percepção de risco = [exposição x susceptibilidade x percepção de consequências x emoções].

A proposta de modificação mantém a característica de questões afetivas como os *drivers* primários do julgamento holístico de riscos para uma variedade de perigos. Segundo os resultados obtidos, a inclusão da medida de susceptibilidade pode significativamente melhorar o entendimento das crenças que suportam a percepção de risco para uma diversidade de perigos.

Este modelo tem como base que as características apresentadas na literatura como influenciadoras da percepção de risco, como: características do perigo (e.g., controlabilidade, distribuição de consequências (SLOVIC, 1987)), características de nível individual (e.g., atitudes ao risco em domínios específicos como Weber et al. (2002) e Blais e Weber (2006)) e características de contexto (e.g., experiência do perigo, confiança em organizações de gerenciamento (WACHINGER et al., 2013)) aumentam a percepção de risco, mas não necessariamente fazem parte de uma medida de percepção de risco em si. Assim, Walpole e Wilson (2020) defendem que estas características impactam as crenças particulares das pessoas sobre os níveis individuais de exposição,

susceptibilidade e severidade das consequências dos perigos, portanto, através da medida destes níveis, a medida de percepção é obtida.

Os autores concluem que ainda é necessário realizar mais pesquisas e investigações sobre o modelo estendido de 4 fatores e algumas limitações do estudo realizado (e.g., falta de detalhes contextuais por falhar em identificar crenças de perigos específicos).

Siegrist et al. (2005) e também em Siegrist (2021) apresentam uma abordagem de percepção de risco composta por traços de personalidade (“*general trust*” e “*general confidence*”), idade e gênero para aplicação em perigos tecnológicos, sociais e naturais. Onde *general trust* é a crença de que outras pessoas podem ser confiáveis, influenciado por satisfação de vida (BREHM; RAHN, 1997) e otimismo (USLANER, 1999), enquanto *general confidence* é a convicção de que tudo está sob controle e a incerteza é pequena (influenciado por sucesso em aspectos da vida não social). A abordagem proposta foi extraída de pesquisas de campo em testes de hipóteses com 388 indivíduos e os seguintes resultados foram obtidos:

- altos níveis de *trust* e *confidece* reduziram o risco percebido;
- idade foi positivamente correlacionada com risco percebido; e
- gênero foi significativa para perigos tecnológicos, onde indivíduos do sexo feminino perceberam maior risco.

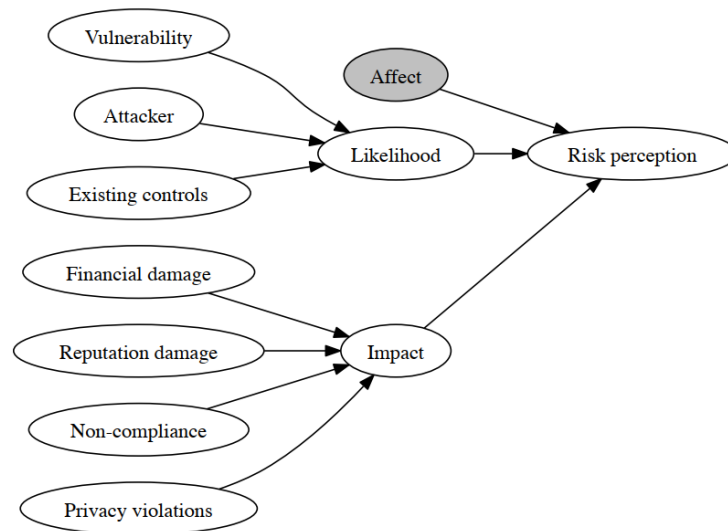
Os autores Siegrist et al. (2005) concluem que existem fortes evidências de que *general trust* e *general confidence* tem impacto na percepção de novas tecnologias. Esta conclusão é reforçada por outros trabalhos como Nyre e Jaatun (2013), modelo de percepção de risco em sistemas de provisão de serviços online (JØSANG; ISMAIL; BOYD, 2007) e modelo de confiança organizacional (MAYER; DAVIS; SCHOORMAN, 1995).

Nyre e Jaatun (2013) apresentam uma medida multidimensional de percepção de risco, apresentado na Figura C.5, com foco na percepção de probabilidade de ocorrência, impacto e emoções. Este modelo é representado por: Percepção de risco = [emoções x probabilidade (vulnerabilidade, agressividade - motivação

e habilidade, controles existentes) x impacto (dano financeiro, dano na reputação, não conformidade, violações de privacidade)].

O modelo foi obtido com os resultados de aplicação de questionários para capturar uma medida mais assertiva de percepção de risco de usuários de tecnologia de TI e tecnologia de segurança da informação.

Figura C.5 – Modelo conceitual de percepção de risco em segurança da informação.



Fonte: Nyre e Jaatun (2013).

O conceito de emoções é reconhecido na literatura como estados de sentimentos experimentados associados com qualidades positivas ou negativas de estímulos (SLOVIC, 2010a), assumindo no modelo uma construção reflexiva. Probabilidade de ocorrência não é simplesmente a combinação de vulnerabilidade, agressividade e controles existentes. Neste modelo, os três elementos influenciam a probabilidade de ocorrência, mas não necessariamente de forma simultânea, enquanto a vulnerabilidade possui comunalidades com os outros fatores, assim assumindo uma construção formativa. Quanto ao impacto, é o conceito mais difícil de modelagem porque depende da ameaça em questão e também do contexto, portanto, uma construção formativa é apropriada.

Os autores Nyre e Jaatun (2013) ressaltam que omitiram a questão de confiança como parte do modelo de percepção de risco apresentado, pois a utilização desta variável é dependente do contexto, sendo aplicável em situações onde há

relacionamento entre partes. Entretanto, a flexibilidade do modelo apresentado, como um instrumento adaptável para medida de percepção de risco, permite a inclusão deste fator.

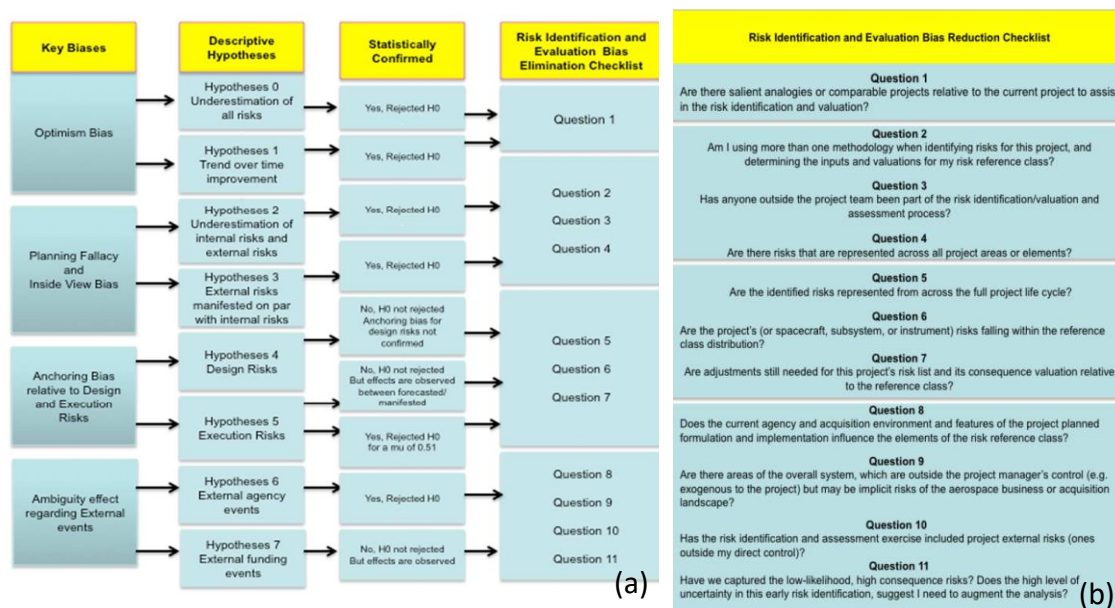
Renn (1990b) apresenta um conjunto de fatores constituintes do conceito multidimensional de percepção de risco com o objetivo de melhorar a comunicação e gerenciamento de riscos, apresentado como: Percepção de risco = f (heurísticas intuitivas - e.g., disponibilidade, ancoragem, excesso de confiança; taxa de perdas percebidas; características situacionais do risco ou consequência do evento de risco; associações com as fontes do risco; credibilidade e confiança em instituições e agências no tratamento dos riscos; cobertura da mídia - e.g., amplificação social de informações; julgamento de outros; experiências pessoais com o risco - e.g., familiaridade).

Segundo Renn (1990b) enquanto especialistas normalmente confinam o termo risco como a magnitude de probabilidade de efeitos adversos, as pessoas leigas associam ao risco uma variedade de critérios qualitativos e subjetivos que são universalmente identificados entre todos os segmentos da população e diferentes culturas. Este conflito entre as diferentes visões sobre riscos atraiu a atenção de pesquisadores para explorar essas diferenças e formas de resolução e foi descoberto que, apesar da existência dessas diferenças, existem muitas similaridades quanto aos mecanismos fundamentais utilizados pelas pessoas na avaliação de riscos em atividades ou tecnologias. Apesar do autor não afirmar que os fatores identificados formam um modelo de medida de percepção de risco, o conjunto de fatores está alinhado com os demais trabalhos investigados da literatura.

APÊNDICE D – INVESTIGAÇÃO DE VIESES NA ANÁLISE DE RISCOS ESPACIAIS – Emmons (2017)

Os testes de hipóteses realizados por Emmons (2017), abordagem representada na Figura D.1(a), foram realizados com um total de 567 riscos, extraídos de 28 missões realizadas pela NASA com diferentes complexidades e tamanhos, envolvendo custos de desenvolvimento entre \$80M e \$1.7B, e concluídos entre 1997 e 2013. Como primeira fonte de dados para os testes de hipóteses, foram usados dados de mudanças de custos estimados, obtidos através de documentos de diferentes marcos (*milestones*) de projeto ao longo do ciclo de vida: PDR ou anterior (se disponível), e CDR. Desse envelope de dados, foram analisados os riscos mais altos (classificação média - amarelo e alto - vermelho).

Figura D.1 - Representação dos testes de hipóteses (a) e checklist (b) desenvolvidos para mitigação de vieses cognitivos.



Fonte: Adaptada de Emmons (2017) e Emmons et al. (2018).

A segunda fonte de dados, consiste em dados empíricos da manifestação de mudança de custos, observados na conclusão dos projetos (classificados por categorias de riscos – Tabela D.1). Esses dados representam a realização de mudanças de custos planejados na linha de base do início do projeto (*early design baseline*) ou da linha de base da CDR, com os custos efetivamente

realizados, considerando a ocorrência de eventos de risco. Esses dados foram obtidos de estudos anteriormente realizados (*Explanation of Change (EoC) study*) para a identificação de causas de mudanças de custos em projetos apresentados em Bitten et al. (2013b), Bitten et al. (2013a) e Bitten et al. (2010).

Tabela D.1 - Taxonomia e classificação dos riscos utilizada nos testes de hipótese.

Government Agency	Project	Area	SubArea	Risk or Event ID
Internal	Project Internal	Project Planning	Design - Spacecraft	Internal-PP1
Internal	Project Internal	Project Planning	Design - Instrument	Internal-PP2
Internal	Project Internal	Project Planning	Technology - Readiness	Internal-PP3
Internal	Project Internal	Project Planning	Technology - Contingency / Backup	Internal-PP4
Internal	Project Internal	Project Planning	Programmatic	Internal-PP5
Internal	Project Internal	Project Planning	Risk Identification	Internal-PP6
Internal	Project Internal	Project Planning	Other	Internal-PP7
Internal	Project Internal	Project Execution	Management - PM/SE/MA Growth	Internal-PE1
Internal	Project Internal	Project Execution	Management - Requirements Growth	Internal-PE2
Internal	Project Internal	Project Execution	System Development - Spacecraft	Internal-PE3
Internal	Project Internal	Project Execution	System Development - Instrument	Internal-PE4
Internal	Project Internal	Project Execution	System Development - Integration & Test	Internal-PE5
Internal	Project Internal	Project Execution	System Development - Ground Systems	Internal-PE6
Internal	Project Internal	Project Execution	Contractor Management	Internal-PE7
Internal	Project Internal	Project Execution	Risk Mitigation	Internal-PE8
Internal	Project Internal	Project Execution	Other	Internal-PE9
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Annual Funding	External-Agency1
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Program Requirements	External-Agency2
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Component Supplier	External-Agency3
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Forced Budget Cap	External-Agency4
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Full Cost Accounting/Accounting Changes	External-Agency5
Internal	Project External	Agency Level (Acquisition)	Other	External-Agency6
Internal	Project External	Center Level (Implementation)	Principles or Guidelines	External-Center1
Internal	Project External	Center Level (Implementation)	Workforce	External-Center2
Internal	Project External	Center Level (Implementation)	Estimating Process	External-Center3
Internal	Project External	Center Level (Implementation)	System Development / Center Facilities	External-Center4
Internal	Project External	Center Level (Implementation)	Other	External-Center5
External	N/A	N/A	Launch Vehicle	Outside Agency-1
External	N/A	N/A	Congress/OMB	Outside Agency-2
External	N/A	N/A	Force of Nature	Outside Agency-3
External	N/A	N/A	Industrial Base Issue	Outside Agency-4
External	N/A	N/A	Economic Issues	Outside Agency-5
External	N/A	N/A	International or Other Partner Performance	Outside Agency-6
External	N/A	N/A	Other	Outside Agency-7

Fonte: Bitten et al. (2013b) e Emmons (2017).

A abordagem utilizada na pesquisa de Emmons (2017) tem como base o cálculo de valor esperado para avaliar o custo previsto de potenciais riscos usando o método *expected monetary value* - EVM (DOD, 2017) e a localização dos riscos na matriz de riscos. Onde a avaliação de probabilidade de ocorrência e consequências do risco são avaliadas segundo as definições (*guidance*) adotadas de cada projeto específico, por exemplo, do *Goddard Space Flight Center*, JLP ou DoD. A transformação dos riscos do projeto para impacto de custos implica na multiplicação da probabilidade do risco (e.g., entre 25% a 50% de probabilidade de ocorrência moderada ou nível 3) e a consequência de custos, se materializado (e.g., multiplicação do aumento de custo entre a 5% a 7% para consequência moderada ou nível 3, e a estimativa de custo de um

determinado ponto do ciclo de vida), resultando no valor monetário esperado do risco.

Essa abordagem permite a avaliação relativa entre as estimativas de riscos previstos (com base em estimativas de custo esperadas), e as mudanças de custos manifestadas. Ou seja, a comparação entre as estimativas dos riscos realizadas ao longo do ciclo de vida e os custos efetivamente materializados, utilizando a média e os limites superior e inferior dos intervalos de probabilidade (*triangular distribution*) em análises de sensibilidade. Além disso, devido a maior granularidade de informações dos riscos identificados nos marcos de projeto (primeira fonte de dados) em comparação com os dados de risco manifestados (segunda fonte de dados), os dados foram analisados no nível de projeto como um todo e também no nível de categorização dos riscos, dependendo dos testes de hipótese construídos.

As conclusões de Emmons (2017) com os resultados dos testes de hipóteses realizados, para cada viés investigado são apresentadas abaixo:

- a) O viés de otimismo foi demonstrado para todos os riscos, mas existe a tendência de melhora ao longo do ciclo de vida do projeto, ou seja, em fases mais avançadas do desenvolvimento, o viés de otimismo tende a desaparecer e há um ganho de habilidade na previsibilidade;
- b) O viés de falácia do planejamento e visão interna foi confirmado para os riscos internos do projeto (que podem ser influenciados ou controlados pelo gerente de projeto) e também para riscos externos do projeto (não influenciáveis ou incontroláveis pelo gerente de projeto), mas a intensidade é agravada para os riscos externos do projeto;
- c) Não houve confirmação do viés de ancoragem para os riscos de projeto (design) dos satélites e de instrumentos de carga útil, entretanto, foi confirmado a existência de viés de ancoragem nos riscos de execução do desenvolvimento do sistema;
- d) O efeito de ambiguidade relacionado a eventos externos ao projeto também foi demonstrado para todos os tipos de riscos.

Considerando as conclusões obtidas, Emmons (2017) propôs um checklist para mitigação de vieses cognitivos (Figura D.1(b)), como uma ferramenta de gestão de riscos para utilização no início de projetos por gerentes (do projeto ou de gerenciamento de risco) ou outras lideranças para ajudar a reduzir os vieses. O checklist tem como referência o checklist desenvolvido por Kahneman et al. (2011) para mitigação de vieses em tomadas de decisão em investimentos e a metodologia desenvolvida por Kahneman e Tversky (1977) quanto ao uso de uma classe de referência (*reference class forecasting*) a ser utilizada como um padrão de comparação através de um processo estruturado de etapas para corrigir vieses cognitivos.

Segundo Emmons (2017), a aplicação do checklist deve melhorar a consciência do time de projeto na avaliação de riscos e pode contribuir para uma cultura mais aberta e que reconhece o fator de erro humano em projetos da área espacial. Neste sentido, como qualquer abordagem ou ferramenta, a intenção de uso do checklist é auxiliar o usuário como um gatilho para pensamento e questionamentos críticos sobre a existência de vieses em seus julgamentos. Apesar do reconhecimento da importância dos vieses motivacionais, Emmons (2017) e Montibeller e Von Winterfeldt (2015) reconhecem que esta classe de vieses é muito pouco explorada na literatura e de difícil correção.

Outros métodos utilizados por especialistas da NASA, apontados a partir de entrevistas realizadas por Emmons (2017), para mitigação de vieses (em geral) em projetos são:

- a) envolver todo o pessoal de projeto no início das discussões de risco para obter informações de possíveis riscos e seus níveis, mostrando que existe uma cultura aberta a novas ideias;
- b) utilizar a revisão dos riscos listados por membros de outros projetos similares e avaliar razoabilidade;
- c) uso de múltiplas ferramentas e métodos para identificar e avaliar os riscos para conferência cruzada que todos os riscos foram identificados adequadamente;

- d) revisão de lições aprendidas e recorrer a especialistas que não estão participando do projeto;
- e) garantir que o time é representativo de diferentes experiências e especialidades;
- f) utilizar diferentes técnicas de identificação e avaliação de riscos para diferentes fases do ciclo de vida do projeto;
- g) tratar riscos regularmente, preferencialmente em todas as reuniões de status do projeto e manter os riscos visíveis ao time de projeto.

APÊNDICE E - TEORIA E FUNDAMENTOS DOS VIESES DE OTIMISMO, FALÁCIA DO PLANEJAMENTO COM VISÃO INTERNA, EFEITO DA ANCORAGEM E EFEITO DA AMBIGUIDADE

A revisão de literatura sobre vieses, específica da área especial, apontou que os vieses de otimismo, falácia do planejamento, ancoragem e efeitos da ambiguidade aparecem com maior frequência nas pesquisas e também investigações de existência em projetos da área espacial. Dessa forma, as seções seguintes apresentam a teoria e fundamentos especificamente sobre estes vieses.

E.1 Viés de otimismo

O viés de otimismo - "*optimism bias*" (WEINSTEIN, 1980), também denominado na literatura como "*wishful thinking*" (SEYBERT; BLOOMFIELD, 2009) e "*desirability of a positive event or consequence*" (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015) é considerado um dos vieses mais frequente, dominante e robusto observado na psicologia e economia comportamental (O'SULLIVAN, 2015). Quanto a sua classificação, entretanto, alguns autores afirmam ser um viés cognitivo (O'SULLIVAN, 2015; EMMONS et al., 2018) enquanto outros autores como um viés motivacional (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015).

O viés de otimismo ocorre quando há a tendência de ser sobre otimista com os resultados de decisões ou a tendência de não identificar ou parcialmente identificar o potencial negativo de alternativas (EMMONS, 2017).

Segundo Hartz e Elrod (1996) o otimismo pode ser visto de diferentes perspectivas como social, psicológica e de processamento de informações. O'Sullivan (2015) apresenta alguns aspectos neurológicos do viés de otimismo como a conexão de vieses negativos com doenças depressivas e o papel da dopamina na geração, modulação e evidência (imagens neurológicas) do viés de otimismo. Taylor e Brown (1988) afirmam que as pessoas utilizam pouco processamento de informações quando o conteúdo é contraditório, negativo ou ambíguo, enquanto em situações em que a informação preexistente é positiva,

de forma a permanecerem utilizando a expectativa prévia de otimismo para o processamento de informações.

As diferentes visões do otimismo fortalecem a noção de que otimismo pode interagir com fatores cognitivos humanos em julgamentos e tomadas de decisão (HARTZ; ELROD, 1996). Taylor e Brown (1988) apresentam três formas principais do viés de otimismo em julgamentos e tomadas de decisão: avaliações próprias, irrealistas e positivas (e.g., autoafirmação de dirigir veículo de forma segura), otimismo irrealista sobre eventos futuros e planos e ilusão de controle com base na confiança sobre habilidades e recursos disponíveis.

Como consequências, o otimismo limita a antecipação de problemas e tende a ignorar que informações de desacordo com a visão otimista, tenham validade (LANDAU; CHISHOLM, 1995). Assim, o otimismo pode causar a ignorância de informações que enfraquecem uma visão otimista dos resultados possíveis e pode gerar conflitos quando contradizem essa visão, levando a simplificações (HARTZ; ELROD, 1996) e aumento na expectativa de ocorrência de resultados favoráveis (KRIZAN; WINDSCHITL, 2007; HUNZIKER, 2019).

Kutsch et al. (2011) analisou o viés de otimismo no gerenciamento de projetos e confirmou a existência do viés na fase de planejamento e também na fase de implementação. Este fenômeno ocorre frequentemente em projetos pois os decisores podem estar cegamente otimistas ao realizarem decisões (LOVALLO; KAHNEMAN, 2003) e assumem riscos desnecessários (HUNZIKER, 2019) como sobre estimativas de benefícios e subestimativas de custos para execução. Liu et al. (2018) atribuiu os atrasos e excessos de custos ao viés de otimismo de decisores ao realizar entrevistas e analisar documentos de 30 projetos de pontes longas desenvolvidas na China.

Segundo Bracha e Brown (2012) e Hartz e Elrod (1996) uma das principais causas de contribuição para o viés de otimismo é a ilusão de controle, ou seja, a tendência de acreditar que ou agir como se tivesse influência e habilidades suficientes para o controle de resultados de eventos. A ilusão de controle, por sua vez, tem como fator principal a familiaridade (LANGER, 1975), que induz

uma redução no esforço mental e facilita a busca de informações na memória, como suporte para uma visão otimista.

Outros fatores são atribuídos como causa do viés de otimismo como Liu et al. (2018) afirma que otimismo está relacionado ao grau de satisfação de vida, estado de saúde físico e autoestima de um indivíduo. Lovallo e Kahneman (2003) afirmam que o otimismo nativo das pessoas é intensificado pelos vieses de ancoragem e negligência de concorrência, assim como pressões políticas para enfatizar aspectos positivos e minimizar aspectos negativos. Flyvbjerg et al. (2004) sugerem que o viés de otimismo poderia ser causado por uma combinação de como os processos de tomada de decisão estão organizados e o comportamento estratégico dos atores envolvidos no planejamento e processo de decisão.

Flyvbjerg et al. (2003) e Flyvbjerg et al. (2004) apresentam explicações para o viés de otimismo quanto as perspectivas técnica, psicológica, econômica e política através de análise dos dados do Departamento de Transporte Britânico, mostrados na Figura E.1, que podem ser generalizadas para causas do viés de otimismo em projetos de natureza complexa.

Figura E.1 – Categorização de causas do viés de otimismo.

Causes of optimism bias	Examples
Technical causes	Imperfect information such as unavailability of data, new or unproven technology Scope changes such as changes in relation to speed, road width, routing, safety and environmental norms Management issues such as inappropriate calculation approach, procurement issues and risk sharing
Psychological causes	Tendency for humans and organisations to favour optimism Appraisal optimism
Economic causes	Construction companies and consultants have interests in advancing projects
Political-institutional causes	Interests, power, and institutions Actors may deliberately lie in order to see their projects/interest realised

Fonte: Flyvbjerg et al. (2004).

Segundo Lovallo e Kahneman (2003) para a maioria das pessoas a tendência ao otimismo é inevitável, enquanto para empresas é improvável que possam ou queiram remove-lo da cultura, pois a pressão organizacional promove otimismo e como consequência produtividade. Ainda assim, otimismo pode e deveria ser balanceado e o simples fato de entender suas fontes podem ajudar no processo.

Lovallo e Kahneman (2003) sugeriram que um modo de evitar o viés de otimismo é utilizar a visão externa ("*outside view*"), com base em dados objetivos do passado, conhecido como *reference class* (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). Onde informações de uma classe similar ou projetos comparáveis são utilizados para guiar as previsões do cenário base criado Flyvbjerg et al. (2004). A inclusão de especialistas externos ao contexto de decisão também é apresentado como técnica de correção do viés de otimismo (KAHNEMAN; LOVALLO, 1993), assim como o uso de regras de alocação de níveis de decomposição e avaliação de probabilidades parciais (KUTSCH et al., 2011) e inclusão de especialistas mais experientes (FLYVBJERG, 2003) que tendem a cometer menos sobre otimismo em estimativas de projetos.

Segundo Hunziker (2019) pesquisadores tem tentado reduzir ou eliminar as distorções do viés de otimismo, mas descobriram que isto é bastante difícil. Tentativas de reduzir o viés de otimismo com medidas de treinamento e demonstração em exemplos tem resultado em pequena mudança.

No contexto específico de análise de risco, algumas abordagens são propostas para redução do viés de otimismo como a inclusão de visão externa, perspectivas adicionais de outros especialistas e o uso da abordagem "*prospective hindsight*", onde os participantes da avaliação de risco imaginam a ocorrência de um cenário indesejado e avaliam todos os possíveis riscos que levaram a esse resultado (HUNZIKER, 2019).

E.2 Falácia do planejamento

O viés de falácia do planejamento foi apresentado em Kahneman e Tversky (1977) e ocorre quando indivíduos estão inclinados a subavaliar custos, cronogramas e riscos, enquanto superestimam seus benefícios durante planejamentos, tomadas de decisão e projeções, mesmo que atividades ou

projetos similares tenham tipicamente falhados em suas estimativas. Como resultado, as predições e projeções tendem a ser mais otimistas e, diferentemente do viés de otimismo, a falácia do planejamento apresenta a combinação de teorias gerais mais realistas (sobre experiências passadas) com julgamentos específicos otimistas (BUEHLER; GRIFFIN; ROSS, 2002).

Buehler et al. (1994) definem a falácia do planejamento especificamente como a tendência de superestimar a velocidade de finalização de projetos e atividades. Apesar da visão mais restrita, o viés é entendido com o mesmo fundamento.

A definição do prazo de finalização de uma atividade ou de um projeto pode ser influenciada, ao menos, por três mecanismos: planejamento por decomposição, através da definição de uma série de etapas necessárias para atingir o objetivo, simulação mental, através da imaginação de cenários coerentes ou história sobre como as etapas irão ocorrer ou o próprio ato de fazer uma predição subjetiva (BUEHLER; GRIFFIN; ROSS, 2002).

Lovallo e Kahneman (2003) demonstraram que a falácia de planejamento é uma consequência da tendência de adotar uma abordagem interna ou visão interna (*inside view*) para predições e estimativas, com foco em elementos do problema particular, ao invés de observar a distribuição de resultados (*distributional information*) em problemas ou projetos similares. Enquanto uma visão externa (*outside view*) de planejamento, fundamentalmente considera um conjunto de questões ambientais mais amplo para predições (KAHNEMAN; LOVALLO; SIBONY, 2011).

Segundo Bazerman e Moore (2012c) a falácia do planejamento ocorre mais frequentemente em projetos grandes e complexos que estão mais susceptíveis à complicações. A maioria dos indivíduos e organizações são inclinados a adotar uma visão interna no planejamento de grandes iniciativas, não sendo somente a abordagem tradicional, mas também a abordagem intuitiva. O caminho natural para pensar sobre projetos complexos é focar no projeto em si, trazendo à tona tudo o que se sabe sobre o assunto, com foco especial em questões únicas e não usuais. A ideia de buscar dados estatísticos de casos relacionados

difícilmente faz parte do pensamento do planejamento (LOVALLO; KAHNEMAN, 2003).

Kahneman e Tversky (1977) sugeriram que as pessoas que focam em casos específicos ou informações singulares (*case-based information*) adotam uma perspectiva interna, concentrando esforços em como completar o objetivo da atividade. Em contraste, pessoas que consideram primariamente informações de distribuições adotam uma perspectiva externa, comparando a atividade presente com projetos passados. As duas abordagens gerais para predições diferem primariamente de como as pessoas tratam a atividade como um caso único ou como um exemplo em um conjunto de problemas semelhantes.

Segundo Buehler et al. (1994), na maioria dos casos, as pessoas deveriam gerar as suas predições de informações singulares e também de distribuições, entretanto, a falácia do planejamento faz com que as pessoas tipicamente adotem perspectivas internas ao predizerem seus próprios cronogramas. Isso resulta na falha em avaliar a relevância de informações de distribuição e utilizá-las como experiências anteriores em atividades similares.

A falácia do planejamento pode ocorrer mesmo quando as pessoas admitem suas responsabilidades sobre falhas em predições passadas. Entretanto, os resultados das pesquisas não eliminam a possibilidade de que raciocínio motivado ou deliberado poderia contribuir para o fenômeno. Nestes casos as pessoas podem se autoconvencer da plausibilidade do resultado quando a finalização de um projeto antecipadamente é desejada. Estas descobertas sugerem que os mecanismos cognitivos fundamentais da falácia do planejamento podem operar a serviço de forças motivacionais (BUEHLER; GRIFFIN; ROSS, 2002).

Lovalló e Kahneman (2003) afirmam que a maioria dos executivos, em organizações comerciais, são facilmente susceptíveis à falácia do planejamento durante suas projeções. Cenários de sucesso são criados com custos e cronogramas subestimados, negligenciando o potencial para erros e falhas nas estimativas. Como resultado, gerentes perseguem iniciativas que são improváveis quanto ao cumprimento de orçamento e cronograma que nunca irão

entregar os retornos esperados. Este otimismo pode ter origem de vieses cognitivos, erros no processamento (mental) de informações ou resultado de pressão organizacional. Essas falhas e pressões são normalmente onipresentes, mas suas influências podem ser contidas através de melhorias nos processos de projeções e predições, adicionando análises de esforços análogos já realizados (visão externa). A visão externa provê uma verificação com a realidade da visão interna mais intuitiva, reduzindo as chances da organização realizar cegamente um investimento desastroso de dinheiro e tempo.

Quando os métodos de projeções utilizam a visão interna e a visão externa com igual inteligência e habilidades, é mais provável resultar em uma estimativa realista, pois isto desvia dos vieses cognitivos e organizacionais. Na visão externa, os gerentes não precisam imaginar cenários, eventos ou calibrar os próprios níveis de habilidade e controle, assim, não há espaço para cometer erros nestes aspectos. Além disso, também não interessa se gerentes não bons na avaliação das habilidades e ações de competidores, pois o impacto de tais habilidades e ações já estão refletidos nos resultados. Entretanto, a visão externa por estar baseada em experiências passadas, pode falhar quando a predição de eventos extremos, mas para a maioria dos projetos, produz bons resultados, principalmente para organizações ou times com pequena experiência na atividade ou área específica (LOVALLO; KAHNEMAN, 2003).

Kahneman e Lovallo (1993) enfatizam que em alguns casos, a relevância da visão externa é negada explicitamente e a preferência pela visão interna é quase uma questão de caráter moral. Nestes casos, a visão interna é entendida como uma tentativa de controle das complexidades do caso singular em mãos e a visão externa é rejeitada por depender de uma analogia crua de instancias similares superficiais.

Segundo Kahneman e Tversky (1977) tentativas de combater a falácia do planejamento através de adoção de margens (*slippage factor*) são raramente adequadas, dado que o valor ajustado tende a permanecer muito próximo do valor inicial, que age como uma âncora. A consideração de informações de

distribuição obviamente não garante a acurácia nas previsões, entretanto, provê uma proteção contra previsões completamente irrealistas.

Buehler et al. (1994) sugerem que a falácia do planejamento é adaptativa, dependendo das razões de falha de projetos similares do passado. Se a classe de projetos tipicamente atrasa por causa de fatores relativamente controláveis, o esforço atual de planejamento pode resultar em uma previsão otimista. Entretanto, se o motivo de falha está ligado a fatores não controláveis, então o esforço atual provavelmente não terá uma previsão otimista.

E.3 Viés de ancoragem

O viés da ancoragem é a predisposição comum de confiar plenamente em informações, resultados ou experiências iniciais ao realizar julgamentos e decisões (TVERSKY; KAHNEMAN, 1974). O valor inicial (*starting point*) ou âncora (*anchor*) pode ser sugerido na formulação do problema a ser resolvido ou resultado de uma busca na memória de um indivíduo. Em qualquer um dos casos, os ajustes posteriores realizados são tipicamente insuficientes (WHYTE; SEBENIUS, 1997).

Existem ao menos duas razões ou processos em que a ancoragem afeta a tomada de decisão (EPLEY, 2004; BAZERMAN; MOORE, 2012b). O primeiro, denominado *adjustment-based anchoring*, quando um indivíduo inicia seu julgamento assumindo uma âncora definida por si mesmo ("*self-generated anchor*"), seja por inferência deposicional, extremidade de informações ou perspectiva própria (EPLEY, 2004) e realiza ajustes (*serial adjustments*) para chegar em uma resposta final (HUNZIKER, 2019). Neste processo, normalmente, os ajustes são insuficientemente distantes da âncora inicial produzindo uma resposta distorcida (EPLEY; GILOVICH, 2001). Algumas causas principais são apresentadas para a insuficiência de ajustes como: limitação de atenção provida ao processo (GILBERT, 2002), nível de esforço mental (CACIOPPO; PETTY, 1982) e grau de satisfação ou plausibilidade (MUSSWEILER; STRACK, 2001).

O segundo processo, denominado *accessibility-based anchoring*, ocorre quando a âncora é definida externamente, ou seja, não é gerada pelo decisor, podendo

ser um valor totalmente irrealista e irrelevante. Neste caso, com uma âncora já adotada, ocorre um processo de comparação (*comparative judgement* (EPLEY, 2004)) guiado por uma hipótese que, normalmente, busca por informações compatíveis ou consistentes com a âncora, ao invés de avaliar informações quanto as inconsistências (MUSSWEILER; STRACK, 2001). Por fim, é realizado um julgamento absoluto de viabilidade da resposta que, normalmente, já está influenciado pelas informações acessíveis utilizadas no processo de comparação (*selective acessibility* (EPLEY, 2004)), guiando a resposta em direção a âncora.

O viés de ancoragem está relacionado ao processo de julgamento humano, que é desafiado pelas memórias recentes, conhecido como efeito de rescência (*recency effect*), mesmo quando informações melhores ou mais apropriadas estão disponíveis (WHYTE; SEBENIUS, 1997).

Epley (2004) também relaciona a ancoragem à acessibilidade, que é dependente de fatores situacionais. Segundo Hunziker (2019), a sobrecarga de informações, falta de orientações específicas e a falta de tempo torna o julgamento das pessoas mais susceptíveis à ancoragem.

Algumas medidas são indicadas para lidar com o viés da ancoragem como: criar pontos específicos de referência ao preparar decisões baseadas em risco, avaliar e discutir os dados fundamentais e premissas que levam a uma âncora específica e manter a avaliação de riscos flexível quanto a aceitação de novas fontes de informações (HUNZIKER, 2019).

Epley (2004) aponta que a mudança na hipótese testada durante a avaliação comparativa, com objetivo de buscar inconsistências entre objeto e âncora ("*consider the opposite*"), reduz a acessibilidade de evidências favoráveis sobre a âncora e leva a diminuição dos efeitos da ancoragem. Enquanto estratégias para corrigir o viés com base em ajustes devem incluir formas de pensamento mais cuidadosos e deliberados ao processo. Mussweiler e Strack (2000) afirmam que o indivíduo que possui conhecimento sobre um assunto particular tem capacidade de gerar evidências consistentes com valores de âncora extremos e são menos influenciados por âncoras irrelevantes. Jacowitz e Kahneman (1995)

apontam também que pessoas confiantes em suas estimativas geralmente apresentam efeitos de ancoragem mais fracos do que pessoas menos confiantes, presumidamente porque pessoas mais confiantes encontram facilidade em gerar informações inconsistentes com as âncoras.

As consequências da ancoragem são dependentes da forma e características de como a âncora inicial é gerada (CAPUTO, 2013), dado que imprecisões ou incoerências podem ser grandes se a âncora for definida aleatoriamente, ao invés de uso de base relevante, o que implica um risco significativo para qualidade do julgamento individual (BAZERMAN; MOORE, 2012b).

E.4 Efeitos da ambiguidade

O efeito da ambiguidade, também denominado de aversão à ambiguidade (*ambiguity aversion*) ou paradoxo de Ellsberg (*Ellsberg's paradox*) (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015) é um viés cognitivo profundamente enraizado e universal (CAMERER; WEBER, 1992; KEREN; GERRITSEN, 1999) que ocorre quando julgamentos são afetados pela falta de informação e consequente ocorrência de ambiguidades (EMMONS, 2017).

Tomando como referência escolhas entre alternativas de apostas, utilizando probabilidade, o viés da ambiguidade é quando o indivíduo prefere a escolha de alternativas com probabilidades explicitamente definidas quanto a alternativas com probabilidades difusas ou não especificadas (MONTIBELLER; VON WINTERFELDT, 2015). Baron (2006) argumenta sobre a questão de probabilidades "desconhecidas", como fazendo pouco sentido, pois probabilidade pode ser subjetiva ("*properties of the person, not the world*"), assim, a única forma em que probabilidade poderia ser "desconhecida" é para uma pessoa que não refletiu suficientemente sobre a situação. Além disso, dizer que probabilidade é "desconhecida" é assumir que probabilidade pode ser "conhecida" somente pela observação da frequência relativa.

Segundo a abordagem da psicologia, na teoria de tomadas de decisão, a maioria dos riscos é caracterizada por uma mistura de complexidade, incerteza e ambiguidade (e.g., o risco/perigo de fumar passivamente possui pequena complexidade e incerteza, mas alta ambiguidade (RENN, 2008b)), assim,

enfatizando a ambiguidade como importante característica a ser tratada, mesmo que pesquisadores tenham usado diferentes definições para o conceito (KEREN; GERRITSEN, 1999). Segundo Stitling (2003) e Renn (2008b), a definição de incerteza refere-se a falta de clareza sobre bases científicas ou técnicas para tomada de decisão, enquanto a ambiguidade se refere a perspectivas divergentes na justificativa, severidade e significados de um dado contexto ou decisões. Segundo Renn (2008b), grande complexidade e incertezas favorecem o surgimento de ambiguidade, intensificando o efeito e intensidade do viés de aversão à ambiguidade em decisões (VISCUSI; CHESSON, 1999).

O fenômeno de ambiguidade foi proposto por Daniel Ellsberg (ELLSBERG, 1961), quando descobriu que indivíduos violavam os axiomas da teoria de utilidade esperada por evitar riscos associados à situações onde a probabilidade aparentava ser desconhecida (BARON, 2006). Segundo Trautmann e Van de Kuilen (2015) a teoria de Ellsberg iniciou uma nova área de pesquisas empíricas sobre a prevalência e as causas de aversão à ambiguidade (JIA et al., 2020).

Desde a proposta do fenômeno, diferentes explicações de como ambiguidade pode afetar decisões tem sido apresentadas (CURLEY; YATES; ABRAMS, 1986; KEREN; GERRITSEN, 1999), inclusive em nível neurológico (PUSHKARSKAYA et al., 2010; BACH et al., 2011). Somado a questão de terminologia e definição de conceitos, onde a ambiguidade e incerteza nem sempre são distinguidos ou claramente definidos, o assunto ainda é bastante discutido na literatura (ETNER; JELEVA; TALLON, 2012).

Um exemplo de pesquisa com importantes conclusões foi Becker e Brownson (1964), onde reportaram que algumas pessoas estão dispostas a pagar valores significativos para evitar fazer escolhas nas quais as probabilidades parecem ser desconhecidas, mostrando que o efeito é uma questão de comportamento de evitar escolhas ambíguas (EINHORN; HOGARTH, 1986).

Tversky e Fox (1995) concluíram que a diferença comparativa na percepção de conhecimento, ou seja, a comparação entre estados de conhecimento correspondentes de cada alternativa, é o fenômeno que fundamenta a aversão à ambiguidade. Neste contexto, a ambiguidade é entendida como o resultado da

percepção humana de que informações importantes estão faltando na descrição do problema de decisão. Como em qualquer situação de incerteza, sempre está faltando informação, qualquer situação pode ser entendida como ambígua ao se observar que faltam informações. Inversamente, é possível transformar uma situação ambígua em uma não ambígua por imaginá-la como uma sequência de repetidos ensaios (frequência relativa) (BARON, 2006). Assim, o efeito da ambiguidade por ser entendido como um tipo de efeito de enquadramento (*framing effect*), dependente da forma em que o problema é descrito (FRISCH; BARON, 1988; KEREN; GERRITSEN, 1999).

Outra explicação para o comportamento quanto à ambiguidade é apresentada por Heath e Tversky (1991) através do efeito de competência (*competence effect*), determinante do quanto um indivíduo percebe o seu conhecimento em determinada situação, demonstrando que as pessoas preferem alternativas ambíguas quando se sentem competentes ou que possuem conhecimento sobre determinado contexto.

O comportamento de aversão ou busca por ambiguidade é explicado por Viscusi e Chesson (1999) pelos efeitos de medo ("*fear*") e esperança ("*hope*"). Com baixa probabilidade de perda, o medo do pior efeito do risco é dominante e, assim, as pessoas são avessas à ambiguidade. Em contraste, a presença de ambiguidade em situações em que o risco é percebido como substancialmente menor por alguns especialistas e maior por outros, pode ser atrativo e gerar esperança por oferecer uma chance de evitar o evento adverso. Embora os efeitos de esperança e medo são plausíveis, ambos violam a teoria da utilidade esperada assim como os efeitos da ambiguidade de risco de maneira geral.

A explicação de Baron (2006) do porque o efeito da ambiguidade é tão persistente para algumas pessoas, mesmo conflitando com os modelos normativos, é que este depende do sentimento sobre a existência de algo que é muito desejável de saber antes de tomar uma decisão. Este sentimento existe em qualquer situação de risco, mas nos casos de ambiguidade existe um número maior de coisas específicas desejadas de se conhecer. Assim, é possível pensar

na tendência de evitar decisões ambíguas como uma heurística útil que guia a decisão na direção de opções com possibilidade de obtenção de informações.

O comportamento inverso, de preferência por alternativas ambíguas (*ambiguity-seeking*), também foi observado em diferentes pesquisas e ocorre em situações específicas (ROCA; HOGARTH; MAULE, 2006). Por exemplo, quando a ambiguidade afeta a probabilidade subjetiva adotada por um indivíduo (EINHORN; HOGARTH, 1985). Em um exemplo de Ellsberg, comentado em Becker e Brownson (1964), mostra que as pessoas ajustam suas probabilidades subjetivas de forma menos extremas, com base em possibilidades imaginadas para facilidade de compreensão quando as probabilidades são extremas. Como resultado, as pessoas preferem alternativas ambíguas quando a probabilidade de ganho é pequena, mostrando um comportamento diferente quanto a aversão à ambiguidade (EINHORN; HOGARTH, 1985).

Apesar do grande volume de literatura disponível sobre o assunto, as consequências do efeito da ambiguidade são relatadas genericamente, conforme Einhorn e Hogarth (1975) demonstraram que o julgamento de probabilidade sob condições de ambiguidade são regressivas e não somam 1, enquanto Curley et al. (1986) sugeriram que ambiguidade causa a indisposição de ação de indivíduos. Segundo Toh e Miller (2016) a aversão à ambiguidade é frequentemente observada na seleção e filtragem de ideias criativas durante a seleção de conceitos.

Duas abordagens são apontadas por Montibeller e Von Winterfeldt (2015) para a correção do viés em situações de tomadas de decisão e análise de risco: modelagem e quantificação da ambiguidade como distribuição de probabilidade e modelar ambiguidade como incerteza paramétrica. Entretanto, essas medidas podem ser aplicáveis somente em contextos quantitativos.

APÊNDICE F - EXTENSÃO DA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE VIESES E ABORDAGENS DE MITIGAÇÃO UTILIZADOS NA ÁREA ESPACIAL

A investigação das causas de falhas técnicas em 91 projetos da área espacial, incluindo falhas de lançamento e de satélites, ocorridos entre 2009 e 2019, realizada por Kattakuri (2019) aponta que os fatores contribuintes principais são vieses cognitivos dominantes de excesso de confiança, otimismo e ancoragem que impactam o desempenho do sistema e levam a catástrofes não intencionais, além da característica de ultrapassarem custos e cronogramas planejados. As Figura F.1 e Figura F.2 apresentam um resumo dos resultados do trabalho de Kattakuri (2019), também apresentados em Kattakuri e Panchal (2019), onde são relacionados os vieses identificados como causa raiz para dez casos de falha de missões espaciais.

Figura F.1 – Relacionamento entre eventos de falha em missões espaciais e potenciais vieses causadores (parte 1).

S. No.	Launch date	Vehicle and Payload(s)	Failure event	Ref.
1	16-May-2015	Proton-M/Block DM-03 with MexSat-1	"Third stage steering engine failed due to intense vibrations caused by an increasing imbalance in the rotor inside the engines turbo-pump."	[18]
2	02-July-2013	Proton-M/Block DM-03 with three GLONASS satellites	"Critical angular velocity sensors installed upside down causing the vehicle to swing wildly and, ultimately, crash."	[19]
3	01-February-2013	Zenit-3SL/Block DM-SL with Intelsat-27	"Poor manufacturing processes and quality control lead to the failure of Zenit-3SL first stage hydraulic power supply unit."	[20]
4	08-December-2012	Proton-M/Briz-M with Yamal-402	"Launch anomaly was due to a combination of adverse conditions which affected the operation of the Briz M main engine during the start-up of the third burn."	[21]
5	06-August-2012	Proton-M/Briz-M with Telkom-3 and Ekspress-MD2	"Accident had been caused by a component of the pressurization system that was not manufactured to specifications."	[22]
6	24-August-2011	Soyuz-U with Progress M12-M	"A blocked duct due to a random production defect cut the fuel supply to the Soyuz-U's third-stage, causing its engine to shut down prematurely."	[23]
7	18-August-2011	Proton-M/Briz-M with Ekspress-AM4	"Inertial coordinate system on-board Briz-M upper stage failed due to a programming error between third and fourth firing and left the satellite in a wrong orbit."	[24]
8	04-March-2011	Taurus XL with Glory	"Payload fairing didn't separate as expected due to failed frangible joints."	[25]
9	05-December-2010	Proton-M/Block DM-03 with three GLONASS satellites	"Launch went wrong 10 minutes after take-off due to a miscalculation during the fueling of Block DM-03 upper stage, which received 1,582 kilograms of extra liquid oxygen above the maximum allowable limit."	[26]
10	24-February-2009	Taurus XL with OCO	"The OCO mission was lost in a launch failure when the payload fairing of the Taurus launch vehicle failed to separate during ascent."	[27]

Fonte: Kattakuri (2019).

Figura F.2 – Relacionamento entre eventos de falha em missões espaciais e potenciais vieses causadores (parte 2).

S. No.	Information about contributing factor(s)	Contributing factor(s)	Dominant Bias(es) and reasons
1	Usage of cheap materials caused rotor material degradation at higher temperatures and hence, the imbalance	Usage of cheap materials, ineffective quality control	1. Anchoring bias 2. Normalization of deviance (Optimism bias)
2	Installation by an unskilled technician with improper installation instructions document followed by poor inspection	Improper technical manuals, unskilled technician, ineffective quality control	1. Anchoring bias 2. Overconfidence (Optimism bias)
3	Factors associated with a pump manufacturing process that proved difficult to control	Uncontrollable manufacturing process, ambitious requirements	Normalization of deviance (Optimism bias)
4	Inadequate thermal requirements definition followed by adverse thermal conditions at the lift-off	Inadequate requirements definition, inadequate safety margin	1. Anchoring bias 2. Overconfidence (Optimism bias)
5	Component of the pressurization system that was not manufactured to specifications	Component manufacturing specifications not met, poor quality control	1. Anchoring bias 2. Normalization of deviance (Optimism bias)
6	Usage of defective fuel duct	Production line defect, poor quality control	Overconfidence (Optimism bias)
7	Time allotted for the delta rotation was incorrectly entered in the flight program	Programming error, lack of program checks	Overconfidence (Optimism bias)
8	Did not consider all flight environmental effects and the system performance margins were not updated accordingly	Poor manufacturing process control, system performance margins not updated	1. Overconfidence (Optimism bias) 2. Normalization of deviance (Optimism bias)
9	Propellant filled-in according to old instructions and necessary pre-launch safety procedures were not carried out	Pre-launch safety procedures not carried out, outdated operational documentation	1. Overconfidence (Optimism bias) 2. Normalization of deviance (Optimism bias)
10	Unable to determine a direct cause that lead to the fairing malfunction	Poor quality control and inspection processes	Overconfidence (Optimism bias)

Fonte: Kattakuri (2019).

O trabalho de David M. Lengyel (LENGYEL, 2018) sobre uma análise crítica das relações entre gerenciamento de riscos, gerenciamento de conhecimento e tomadas de decisão utilizando a visão de doze gerentes de projetos da NASA com mais de dez anos de experiência, afirma que, mesmo que os guias, métodos e padrões utilizados pelos engenheiros da NASA estejam bem documentados e provêm suporte para a avaliação de riscos, existem fatores subconscientes humanos e erros de julgamentos que devem ser considerados, incluindo heurísticas de ancoragem e ajuste ou regras de ouro (*rules of thumb*).

A partir das entrevistas estruturadas realizadas por Lengyel (2018), especificamente quanto as respostas à pergunta se os vieses são levados em consideração durante o desenvolvimento (construção) dos níveis de avaliação de consequência e probabilidade de ocorrência (utilizando matriz de risco) para avaliação de riscos, as seguintes respostas foram providas:

- Um gerente de riscos do JSC (*Johnson Space Center*) confirmou que existem tentativas de considerar os vieses individuais, entretanto, acredita

que o único caminho efetivo de neutralizar vieses é ter os riscos avaliados em diferentes níveis de times de discussão (*boards*) de forma que o efeito normativo de diferentes pessoas discutindo as avaliações (níveis atribuídos) deduzam qualquer viés;

- Um gerente de riscos do GSFC (*Goddard Space Flight Center*) observou que engenheiros de subsistemas tendem a submeter riscos candidatos com altos níveis atribuídos devido à grande importância que é depositada naquele subsistema. Um grupo de gerenciamento de riscos consciente desta questão sempre tenta prover consistência para normalizar as avaliações, como uma de suas funções;
- Outro gerente de riscos informou que a NASA utiliza o termo "*engineering judgment*" para descrever a experiência, conhecimento e formação de um indivíduo. Mesmo as autoridades técnicas da NASA estão vulneráveis a vieses em todos os tipos de riscos e que cabe aos gerentes mais experientes (sêniores) a decisão final;
- Um gerente de riscos atuante em 2018, informou que há muita discussão e calibração no início dos projetos, onde os membros do time trazem seus tópicos ou preocupações com base em experiências passadas para discussão para julgamento de consideração como risco. No início de um projeto não é necessariamente um viés de atribuição de níveis, mas há maior preocupação com o viés do que pertence a base de dados;
- Outro gerente de riscos do GSFC notou que alguns fatores para redução de vieses são experiência e treinamento. Onde treinamento inclui a troca de experiências e lições aprendidas, especialmente onde finalizou um projeto passado ou subestimou um risco.

O *Academy of Program/Project & Engineering Leadership (APPEL) knowledge Services* da NASA, centro acadêmico de desenvolvimento e gerenciamento de conhecimentos da agência, promoveu em 2018 um desafio virtual de gerenciamento de projeto (*Virtual Project Management Challenge*) com a participação de especialistas da NASA sobre o tema de mitigação de vieses

cognitivos em tomadas de decisão, disponível em (NASA APPEL KNOWLEDGE SERVICES, 2018).

Segundo NASA (2018), o conceito do processo de tomada de decisão é baseado em regras de decisão que dependem do contexto. Algumas regras são bem adaptadas para situações em que as consequências de alternativas de decisão são conhecidas, entretanto, quando há incertezas e desconhecimento, as regras devem ser adaptadas para este contexto e é quando os humanos utilizam heurísticas para chegar a soluções. Neste contexto, os participantes apresentaram algumas formas que a podem ser adotadas para a mitigação de vieses cognitivos:

- Modelagem (*framing*) dos problemas de forma construtiva e de acordo com as regras de decisão, propriedades do passado e características do ambiente, permitindo a identificação da causa de ocorrência dos vieses e a aplicação de melhorias nestes pontos específicos do processo de tomada de decisão;
- Conscientizar times de projetos sobre a existência de vieses durante treinamentos, mas em conjunto com outras iniciativas e abordagem, pois não há evidências que a conscientização isoladamente possui efetividade na prevenção de vieses;
- As tentativas de eliminar os vieses cognitivos através de técnicas para "*de-baias*" normalmente são malsucedidas;
- Tratar o assunto explicitamente com o seu fundamento principal de entendimento de como a mente humana funciona e não como um problema estatístico. Esta questão tem raízes nos primeiros estudos da área, em que situações foram projetadas para observar as reações humanas ("*statistical decision norm*"), provendo informações sobre como as pessoas processam informações, mas não representa completamente a complexidade do processo de decisão e sua relação com o contexto;
- Prover múltiplas regras de decisão aos responsáveis (robustez e resiliência), treinamento formal, aumento de experiência e criação de

diferentes times. Não eliminar potenciais estratégias de decisão, mas entender quando e qual peso deve ser atribuído a cada uma delas;

- Formar decisores perspicazes ao ensiná-los a considerar explicitamente o processo de decisão, o ambiente e como utilizar as regras de decisão heurísticas para o contexto específico;
- Moldar o ambiente, atividades e processos para ganhar vantagem das regras de decisão disponíveis;
- Inclusão de auxiliares para a decisão (*decision aids*), pessoas com diferentes perspectivas e informações aumentam rapidamente o conhecimento disponível;
- Utilização de lições aprendidas com atenção aos aspectos de obter a informação das lições e experiências corretas, capturar corretamente lições de falhas e sucessos, capturar as regras de decisões utilizadas, atividades sendo realizadas e o ambiente.

Segundo Larson (2012), diversas técnicas e ferramentas já são utilizadas no desenvolvimento e verificação de sistemas espaciais da NASA como, por exemplo:

- Utilizar “*read teams*” para criar e projetar testes que investiguem vulnerabilidades no projeto do sistema;
- Desenvolver uma cultura de tolerância que permita aos indivíduos propor cenários de falha aparentemente absurdos e garantir que eles tenham uma audiência justa;
- Fornecer treinamento para os envolvidos nos projetos sobre a natureza e os efeitos dos vieses que podem afetar seu trabalho;
- Evitar especulação sobre a probabilidade de cenários de falha, enquanto desafia as premissas sobre o comportamento e as operações do sistema;
- Não confiar em nenhuma mitigação única para neutralizar o viés potencial.

APÊNDICE G – FUNDAMENTAÇÃO, MÉTODOS E MEDIDAS DE ATITUDE, PREFERÊNCIAS E COMPORTAMENTO AO RISCO

Segundo Rohrmann (1998), os termos tendência ao risco (*risk tendency*), propensão ao risco (*risk propensity*), caçador ou amente de risco (*risk-seeking*) e aversão ao risco (*risk aversion*) não possuem uma definição única na literatura. Hillson (2012) amplia essa lista de termos ao adicionar: apetite ao risco (*risk appetite*), atitude ao risco (*risk attitude*), capacidade de risco (*risk capacity*) e preferência de risco (*risk preference*), afirmando que não há uma definição clara de como esses termos diferem, sobrepõe-se, substituem ou se relacionam uns aos outros em diversas pesquisas.

G.1 Atitude ao risco

As pesquisas sobre atitude ao risco evoluíram, principalmente, nos contextos de processos de decisão econômicos, psicologia social e psicologia de personalidade, existindo um grande volume de trabalhos no desenvolvimento de métodos para sua identificação (ROHRMANN, 2005). Portanto, não há uma visão conceitual singular nem mesmo sobre a natureza desta dimensão como um traço geral, ou estado e sua aplicabilidade conceitual geral ou de domínio específico. Possivelmente por esta instabilidade teórica sobre o assunto, não existem formas e ferramentas de medidas amplamente aceitas entre as áreas de conhecimento.

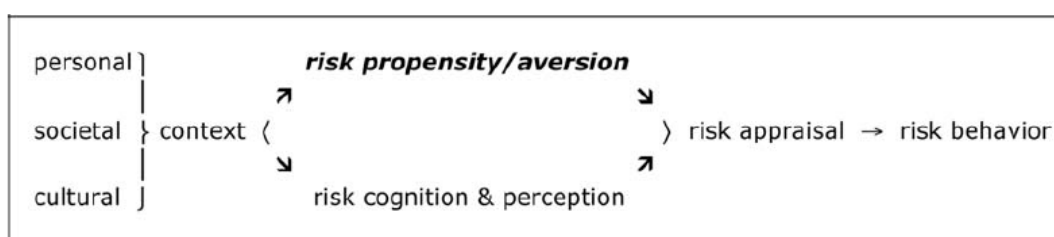
Na área de psicologia e ciências sociais, base conceitual do modelo SER, é assumido que as pessoas diferem em suas atitudes diante de riscos, variando de cautelosos (*cautiousness*) com atitudes avessas ao risco (*risk aversion*) à caçadores de risco (*risk-seeking*) com atitude de propensão ao risco (*risk propensity*), conforme as definições em Rohrmann (2005):

- a) Propensão ao risco (*risk propensity*): atitude em direção a aceitar/correr riscos (*taking risks*);
- b) Aversão ao risco (*risk aversion*): atitude em direção a evitar riscos (*avoiding risks*).

Nessa definição, as atitudes de propensão e aversão ao risco podem ser analogamente entendidas como dois polos distintos de orientação (unidimensional) ao risco que influenciam na formação do comportamento, conforme representado na Figura G.1. Nota-se que a atitude ao risco pode ser motivada por diversos fatores contextuais de origem pessoal, da sociedade e culturais como, por exemplo, a busca de experiência, autoaprimoramento, prazer de estar sob risco, busca de prestígio, pressão social, ganhos financeiros, falta de tempo ou falta de meios (ferramentas e recursos) e subestimação de perigos (ROHRMANN, 2008).

Alternativamente, segundo Rohrmann (2005), propensão e aversão ao risco podem ser assumidos como conceitos próprios. Entretanto, quando utilizados como conceitos próprios, podem gerar inconsistências e levar a diferentes interpretações. Por exemplo, em Wang et al. (2016), a propensão ao risco é entendida como a orientação geral ao risco, ou seja, como um substituto do termo atitude ao risco, podendo assumir dois estados distintos (*risk seeking* ou *risk avoidance*). Portanto, a questão de formação dos modelos conceituais e entendimento dos conceitos é parte do conflito existente nas pesquisas da área e fica evidente a necessidade de adotar definições claras, a fim de evitar entendimentos inadequados.

Figura G.1 - Modelo de influência da atitude ao risco na avaliação subjetiva de riscos.



Fonte: Adaptada de Rohrmann (2008).

Somado a estas questões, ou talvez como justificativa para os conflitos, estão as distintas naturezas da atitude ao risco. Markiewicz et al. (2020) apresenta uma discussão sobre a natureza da atitude ao risco no contexto de modelos de risco-retorno (área de finanças e investimentos) sobre as três abordagens alternativas

em discussão na literatura. Na primeira alternativa, a atitude ao risco é tratada como uma resposta ao *trade-off* de riscos e benefícios (base para discussão sobre atitude de domínio específico), composta pelos componentes cognitivos, afetivos e comportamentais, tornando-se um conceito dinâmico e vulnerável a mudanças e manipulação (base para discussão sobre atitude como uma medida singular ou multifatores). Na segunda alternativa, atitude ao risco é entendida como um traço de personalidade, tipicamente adotado na psicologia de personalidades, e possivelmente relacionada a questões biológicas, sugerindo que a atitude ao risco pode ser entendida como uma característica individual. A última alternativa considera atitude ao risco como um estado, ou seja, uma manifestação temporária e não necessariamente consistente, como a utilização de pesos de decisão por fatores situacionais ou afetivos.

As discussões sobre a natureza de atitude ao risco também são estendidas para outros contextos, além da área de finanças, em busca de conclusões sólidas sobre generalizações ou estabilidades da atitude ao risco de humanos com o desenvolvimento de modelos para predição de atitude ao risco. Algumas pesquisas mostram que o humor (MITTAL; ROSS, 1998), sentimentos (LOEWENSTEIN et al., 2001) e a forma com que os problemas são modelados (MARCH; SHAPIRA, 1987) afetam a atitude ao risco. Outras, mostram que a atitude ao risco não é necessariamente estável ou homogênea para diferentes tipos de riscos, mas é específica de domínio (*domain-specific attitudes*) (WEBER; BLAIS; BETZ, 2002).

Pesquisas mais recentes como GRiPs (*General Risk Propensity Scale*) de Zhang et al. (2018) e GRF (*General Risk Factor*) utilizando *bifactor analysis* de Althouse et al. (2017) e Frey et al. (2017) buscam encontrar fatores gerais de risco, ou seja, estruturas psicométricas comuns de traços de personalidade em atitudes de assumir riscos que apresentem estabilidade e validade de predição. Entretanto, Lauriola e Weller (2018) apontam que a divergência entre pesquisas de atitude ao risco como característica geral ou fenômeno específico de domínio não é conclusiva.

Diferentes metodologias são utilizadas nas pesquisas de atitude ao risco como, por exemplo, utilizando técnicas psicométricas na busca de correlações com elementos sociodemográficos e traços de personalidade ou utilizando ferramentas de identificação de preferência ao risco (*risk preferences*) como experimentos de decisão envolvendo loterias com recompensas monetárias (HARRISON; RUTSTRÖM, 2008) ou a integração de múltiplas abordagens. Preferência ao risco, portanto, é o fenômeno observado, que pode indicar o comportamento ao risco de um indivíduo adotado pela área de economia.

G.2 Preferência ao risco

Segundo Charness et al. (2020), a preferência ao risco é considerado um elemento essencial nas discussões de finanças, seguros e mercado financeiro, entretanto, as discussões sobre suas formas medida não são convergentes. Mata et al. (2018) afirmam que as pesquisas da psicologia buscam entender por que indivíduos diferem em decisões de engajar em comportamentos arriscados e oferecem ferramentas analíticas para avançar na discussão sobre a natureza da preferência ao risco.

De acordo com Frey et al. (2017), genericamente utilizando o conceito risco como “propriedades do mundo”, as respostas das pessoas sobre essas propriedades são tipicamente denominadas de preferências ao risco. Na psicologia, a preferência ao risco é definida como a propensão de engajamento em comportamentos ou atividades que são recompensadoras (inclusive emocionalmente), mas que envolvam algum potencial de perda (STEINBERG, 2013; MATA et al., 2018). Enquanto na área de economia, preferência ao risco é definido como a extensão em que as pessoas estão dispostas a correr riscos (*willingness to take risks* (CHARNESS; GNEEZY; IMAS, 2013)), ou seja, se refere a tendência de engajamento em comportamento ou atividade que envolva maior variância em retornos monetário, que é o conceito risco adotado na área de finanças com modelos risco-retorno (MARKIEWICZ et al., 2020).

Segundo Hertwig et al. (2019) e Mata et al. (2018) essa distinção conceitual também implica em diferentes formas de medida de preferência ao risco, enquanto a visão econômica confia em medidas de comportamento, através de

métodos incentivados de identificação de preferências reveladas, a psicologia utiliza medidas de propensão autodeclaradas avaliando preferências declaradas (FREY et al., 2017). Frey et al. (2017) também apresenta uma terceira tradição de medidas de preferência ao risco, da área clínica e epidemiológica, onde a frequência de realização de atividades arriscadas é avaliada como medida de preferência ao risco.

Segundo Weber (2010) as diferentes interpretações de preferência ao risco são explicadas pelos fundamentos que suportam os diferentes modelos de decisão (teoria de tomada de decisão). Os modelos fundamentados nas teorias de valor esperado (EV) e utilidade esperada (EU) assumem que as pessoas veem as opções ou alternativas de decisão sob risco como uma distribuição de possíveis resultados, onde esses resultados são "descontados" em função do quão provável é a sua ocorrência. Esses valores são integrados individualmente para todos os possíveis resultados, provendo uma medida de valor para cada opção sob risco, onde aquela opção que tem o maior valor é escolhida (abordagem de maximização). Alternativamente, modelos de risco-retorno assumem que opções sob risco são representadas como o *trade off* entre risco e retorno, onde o valor de uma opção sob risco aumenta com maior retorno (normalmente utilizando valor esperado ou média) e diminui com o risco (definido como a variância ou imprevisibilidade de resultados). Ambos os modelos EV, EU e Risco-Retorno fazem parte das raízes da teoria de tomadas de decisão racionalista (área de economia) e descrevem como decisões deveriam ser realizadas (abordagem normativa).

A Teoria da Perspectiva (*Perspective Theory* (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979)) e também a Teoria de Arrependimento (*Regret Theory* (BELL, 1982; LOOMES; SUGDEN, 1982)), denominados modelos psicológicos de tomada de decisão, partem da teoria da utilidade esperada (EU) e a modificam com processos auxiliares e parâmetros associados que explicam melhor os comportamentos de escolhas observados. Enquanto modelos de risco-retorno utilizam a abordagem de EV-Variância e ampliam seu escopo com a premissa de que as pessoas também realizam (e utilizam na tomada de decisão) *trade off* entre suas expectativas subjetivas de retorno e suas percepções subjetivas de risco, de

forma que representam as diferenças individuais e situacionais (contexto) da decisão (WEBER, 2010).

G.2.1 Abordagens de identificação e medidas de atitude e preferência ao risco

Pesquisadores das áreas de economia e psicologia tem desenvolvido diferentes metodologias para identificar e avaliar a atitude ao risco de indivíduos. A escolha de qual metodologia utilizar é dependente do objetivo buscado, conceitos e fundamentos utilizados (CHARNESS; GNEEZY; IMAS, 2013). Dois principais propósitos da identificação de atitudes ao risco são reconhecidos, o primeiro na busca de explicação de comportamentos com o desenvolvimento de teorias e modelos explicativos (ALEXY et al., 2016) e o segundo para verificação de validade das teorias explicativas, através de relacionamento das atitudes medidas com os comportamentos observados (KAHNEMAN; RITOV; SCHKADE, 1999).

Quanto aos fundamentos, abordagens que utilizam utilidade esperada (EU) e suas variações da área de economia, tipicamente modelam atitude ao risco como a forma da função de utilidade do decisor. Segundo Weber et al. (2002), essas medidas e seus instrumentos de identificação de atitude ao risco confundem as variáveis psicológicas de percepção e comportamento ao risco. Em abordagens que utilizam o modelo de risco-retorno, tipicamente da área de finanças, a atitude ao risco é modelada como o *trade off* entre risco percebido (variância dos retornos) e retornos esperados (valor esperado). Enquanto em modelos psicológicos de risco-retorno tratam a magnitude de risco percebida como uma variável diferente entre indivíduos e como uma função de conteúdo e contexto (WEBER; BLAIS; BETZ, 2002). Existem também métodos baseados na Teoria da Perspectiva, que buscam identificar a curvatura de valor e os pesos de decisão sob probabilidades (CHARNESS et al., 2020).

As medidas de atitude ao risco geralmente avaliam o nível de risco preferido de decisores (preferência ao risco), que podem ser classificados em três categorias segundo Appelt et al. (2011). Na primeira categoria estão as medidas de comportamento ao risco, onde as preferências ao risco de um indivíduo são

determinadas através de escolhas reais em jogos ou cenários da realidade ou hipotéticos - *incentivised behavioral measures eliciting revealed preferences*, (exs. Balloon Analog Risk Task – BART (LEJUEZ et al., 2002), Columbia Card Task – CCT (FIGNER et al., 2009), Iowa Gambling Task (BECHARA et al., 1994)). Em uma segunda categoria estão medidas realizadas através de questionários autodeclarados – *self-reported propensity measures assessing stated preferences* (exs. Choice Dilemmas Questionnaire - CDQ) e também medidas que avaliam a percepção de risco e benefícios do decisor para inferir seus níveis de preferência ao risco (e.g., Domain Specific Risk Task - DOSPRT). Em uma terceira categoria, atitude ao risco é derivada através da autodeclaração de traços de personalidade (e.g., impulsividade) relacionados a correr ou evitar riscos e, em alguns casos, fazem parte de uma construção de personalidade.

Segundo Dohmen et al. (2011), apesar do número crescente e progressos das pesquisas para o desenvolvimento de medidas empíricas de atitude ao risco, muitas questões ainda permanecem sem respostas. Por exemplo, não é possível identificar com clareza quais são os determinantes das diferenças individuais de atitude ao risco, assim como a validade do uso de questionários autodeclarados para medida de atitude ao risco (principalmente da área de psicologia) por não constituírem métodos incentivados, assim estando mais sujeitos aos egoísmos (*self-serving biases*), falta de atenção e motivação resultando em distorções nas atitudes declaradas. Entretanto, os estudos experimentais envolvendo medidas de comportamento de correr riscos (*risk-taking*) com apostas monetárias reais tem menor chance de interferência por tais fatores, mas, por outro lado, são experimentos caros e enfrentam dificuldades de escala e representatividade amostral.

Charness et al. (2020) apresenta um estudo de investigação da validade (*external validity*) de medidas de atitude ao risco realizadas em laboratório (ambiente controlado), quanto explicação para os comportamentos ao risco de dois tipos. Primeiro, quanto comportamentos observados em laboratório (via decisões financeiras sob risco). Segundo, em situações reais (de campo)

envolvendo diferentes naturezas de decisões: financeiras, de saúde e ocupação trabalhista.

Os resultados de Charness et al. (2020) apontam que as medidas de atitude ao risco têm bom relacionamento preditivo do comportamento ao risco observado em laboratório e que as medidas mais complexas, obtidas de modelos baseados em teorias mais elaboradas ou avançadas e que provêm melhor precisão na descrição de comportamento, tiveram melhores resultados do que as medidas mais simples, baseadas em teorias menos complexas que diminuem erros de medida e equívocos. Entretanto, as medidas de atitude ao risco não tiveram correlação com o comportamento real em campo, levantando questionamentos sobre os métodos atualmente utilizados com o propósito de medir preferências ao risco. Entretanto, os métodos de autodeclaração de disposição de correr riscos (*willingness to take risks*) como Dohmen e Falk (2011) apresentaram correlação com o comportamento real em Lönnqvist et al. (2015).

G.3 Comportamento ao risco

Nos conceitos que fundamentam o modelo SER de Rohrmann (2008), o comportamento ao risco é a ação final ou comportamento real (*actual behavior*) de um indivíduo quando está diante de uma situação de decisão sob risco, influenciada pela atitude e percepção do risco (representados pelo julgamento da magnitude e aceitabilidade do risco (ROHRMANN, 2005)). Assim, existe uma relação direta entre esses fatores e as diferentes decisões tomadas por indivíduos em situações de risco poderiam ser explicadas tanto por diferentes atitudes ao risco como diferentes percepções de risco. Entretanto, as pesquisas sobre como se dá o comportamento ao risco são divergentes.

Figner e Weber (2011) apresenta uma visão alinhada com esse conceito, onde correr riscos (*risk taking*) não deve ser entendido como um traço singular, mas um comportamento influenciado por características da situação (e.g., objeto de decisão em si, o domínio de decisão - assunto, extensão de envolvimento de afeto e deliberação), características do decisor (e.g., idade e gênero) e as interações entre a situação e o decisor.

Diferentemente, Weber et al. (2002) utilizaram a abordagem psicofísica de risco-retorno e concluíram que os diferentes comportamentos são associados diretamente às diferenças na percepção de risco, permitindo a observação de um padrão característico de atitude, por natureza de domínio, de um indivíduo. Ou seja, em diferentes contextos de decisão um indivíduo possui um padrão de atitude. Alinhado com essa visão, a investigação da correspondência entre diferentes medidas de atitude ao risco e o comportamento real de Charness et al. (2020) concluiu que a não correlação entre medidas de atitude ao risco realizadas em laboratório e o comportamento ao risco real, pode ser explicada se a percepção de risco for o *driver* primário do comportamento ao risco.

Segundo Slovic (1964) o comportamento de correr riscos parece ser multidimensional por natureza, possui componentes subjetivos e é susceptível a uma variedade de influências, inclusive motivacionais. As pesquisas que visam estabelecer e validar medidas de correr riscos (*risk taking*) normalmente tem negligenciado ao menos algum destes fatores e, possivelmente, por esta razão tantos resultados contraditórios foram encontrados. Fox e Tannenbaum (2011) sugerem que outra possível explicação das divergências entre os resultados das pesquisas é a utilização intercambiável de diferentes definições e fundamentos de risco.

Quanto a formação de comportamento ao risco, Fischhoff et al. (1983) propõe que esta ocorre durante a avaliação do risco, quando estímulos são processados e transformados em um padrão de ação comportamental. O processo de avaliação de risco, por sua vez, é influenciado pelo processo de identificação de risco que o antecede, onde a percepção de risco (no entendimento da psicologia) é formada através de identificação, julgamento, armazenamento e recuperação de informações. Subprocessos que contam com a iteração dos diferentes sistemas cognitivos e fatores de contexto (RENN; ROHRMANN, 2000). Essa complexa e ainda desconhecida iteração torna o entendimento, medidas e formas de identificação de comportamento ao risco complexos e não convergentes.

Segundo Kahneman (2003a) o comportamento ao risco de um indivíduo não é exclusivamente determinado pela sua capacidade de computação mental, mas também por aquilo que é percebido e interpretado em um determinado momento. Assim, o comportamento não pode ser predito somente pelas habilidades e capacidades do indivíduo, pois dependem também de fatores situacionais, culturais e emocionais, o que vai de encontro com o modelo SER (ROHRMANN, 2008).

A limitação de capacidade mental humana e a teoria de *Satisfaction*, desenvolvida por Herbert Simon (SIMON, 1955), também podem ser utilizadas como explicações do comportamento ao risco humano. Simon definiu o conceito de racionalidade limitada (*bounded rationality*) pelo vasto número de informações que existem no ambiente e a limitação computacional humana, indicando que somente uma parte do ambiente real é utilizada para tomada de decisão, afirmando que os sensores humanos filtram mais de 99% das informações do ambiente antes de chegar no nível consciente. Isso dá maior importância ao reconhecimento subconsciente de padrões, durante tomadas de decisões, no sentido de satisfação com relação a um critério de nível de aspiração (*aspiration level criteria*), e não a maximização racional de utilidade esperada da teoria clássica econômica (FRANTZ, 2003).

G.3.1 Pesquisas em comportamento ao risco

Segundo Lopes (1987) os estudos de psicologia sobre escolhas de risco (*risky choices*) tem duas vertentes distintas. Uma delas conduzida por pesquisadores experimentais (*experimental psychologists*) com inclinações matemáticas que utilizam decisões sobre apostas descritas em termos de probabilidades e abordagem nomotética (tendência de generalização de comportamentos ao risco) e, no outro extremo, estão os estudos realizados por pesquisadores da psicologia de personalidades (*personality psychologists*), que estão interessados nas diferenças individuais das pessoas em correr riscos, utilizando abordagem idiográfica (tendência de especificação).

Na vertente experimental-matemática, o comportamento pode ser explicado de duas formas diferentes. Primeiro, como resultado do *trade off* do potencial

retorno com o risco assumido de uma escolha, abordagem que é adotada pelas teorias clássicas de finanças e investimentos de Markowitz (1952) e Coombs (1975). Na teoria de Markowitz (1952), o retorno financeiro modelado como valor esperado (EV) é considerado desejável, enquanto a variância no retorno assumido (denominado risco) é indesejável. A teoria de Coombs (1975) utiliza um modelo classificado como *psychological mean-risk model*, onde escolhas entre riscos refletem o compromisso entre a maximização de valor esperado e o alcance de um determinado nível ideal de risco (*ideal level*), que representa o nível aceitável de risco de um indivíduo.

A segunda vertente experimental identificada por Lopes (1987) é menos intuitiva, mas é mais difundida e consiste das teorias com base em modelos de valor ponderado (*weighted-value models*) incluindo a Teoria de Utilidade Esperada (EU) e seus desdobramentos, onde medidas objetivas de valor (normalmente monetária) são substituídas por uma medida subjetiva, denominada de utilidade que, normalmente, não é linearmente relacionada com valores monetários. Também faz parte desta vertente, a Teoria da Perspectiva (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), onde o valor percebido de um indivíduo, sobre as alternativas de decisão tem como referência a perdas e ganhos partindo de um ponto de referência e é ponderado por pesos de decisão (ao invés de probabilidades objetivas).

As pesquisas de psicologia de personalidade, classificadas como a outra forma de explicação de comportamentos ao risco, buscam similaridades e diferenças entre necessidades pessoais e nas formas de busca por opções alternativas que atendem tais necessidades, sejam por motivações, incentivos ou características de personalidade. Estas abordagens levam em consideração a natureza competitiva das necessidades como, por exemplo, quanto aos compromissos entre convicção e incentivo, ou motivos antagônicos de atingir o sucesso e de evitar as falhas (LOPES, 1987). Segundo Markiewicz et al. (2020) muitos estudos demonstraram a existência de conexões entre as cinco grandes dimensões de personalidade, denominado Big Five (*openness to experience, conscientiousness, extraversion, neuroticism and agreeableness*), e o

comportamento de correr riscos, entretanto, as conclusões raramente convergem entre si.

Mais recentemente, as pesquisas de psicologia incorporaram pesquisas neurológicas e biológicas. Segundo Zhang et al. (2018) e Mata et al. (2018), os estudos psicométricos em comportamento ao risco incorporaram as pesquisas neurológicas (e.g., neurotransmissão por dopamina e serotonina (DREBER et al., 2009)) e genéticas (e.g., determinação genética de preferência ao risco (ZYPHUR et al., 2009)) na busca de comprovar a existência de disposição à correr riscos.

As discussões sobre a natureza da atitude ao risco (como um estado, de domínio específico, disposição geral ou *trade off* entre riscos e benefícios/retornos (MARKIEWICZ et al., 2020)) são automaticamente incorporadas em estudos de comportamento de risco, dado sua relação direta de influência (tomando como base o modelo SER). Entretanto, raramente fica evidente qual é o modelo de relacionamento utilizado nos trabalhos da literatura.

Alguns pesquisadores argumentam que correr riscos é situacional e é influenciado pelas características do ambiente (situação e contexto), como efeitos de enquadramento (framing), e características individuais como nível de aspiração (TVERSKY; KAHNEMAN, 1986). O trabalho de Kahneman e Tversky sobre a Teoria da Perspectiva mostrou a assimetria de correr riscos em situações de ganhos e perdas (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), como um comportamento geral ao risco.

Outros pesquisadores argumentam que correr riscos é específico de domínio e que não existem consistências e dependências entre eles. Estas pesquisas são justificadas pela abordagem de risco-retorno, quanto as diferenças pessoais de disposição de *trade off* entre risco percebido (*Attitude towards Perceived Risks - PRA*) e benefícios percebidos (*Attitude towards Perceived Benefits - PBA*) nas diferentes naturezas de atividades (WEBER; BLAIS; BETZ, 2002).

Entretanto, a variação de preferência ao risco para diferentes domínios não impossibilita a existência de uma disposição geral, mas deve manter consistência na agregação ao longo de diferentes situações, o que é explorado

por diversos estudos psicométricos. Por exemplo, Blais e Weber (2006) concluíram que a especificidade de domínio em correr riscos está relacionada a percepção de riscos e benefícios específicos de cada domínio, enquanto a propensão geral permanece consistente em diferentes situações. Frey et al. (2017) encontrou ao longo de diferentes medidas de preferência ao risco evidência para um fator geral de risco com um alto grau de estabilidade temporal. Althouse et al. (2017) através de análise *bi-factor* da estrutura DOSPERT de Blais e Weber (2006) concluiu que um fator geral de domínio é mais explicativo do que o modelo de cinco fatores. Zhang et al. (2018) desenvolveram uma escala geral de propensão ao risco (GRIPs).

Apesar do interesse generalizado em entender e identificar comportamentos ao risco, a literatura atual carece de um consenso quanto a natureza de correr riscos como uma característica multi-fatores ou uma disposição geral (ZHANG; HIGHHOUSE; NYE, 2018).

G.3.2 Abordagens de identificação de comportamento ao risco

A terminologia dos tipos ou classificações de comportamento ao risco normalmente não são claramente definidos na literatura. Em alguns casos são adotados os mesmos termos da atitude ao risco, possivelmente pela não distinção clara entre os dois conceitos, gerando ambiguidades conceituais. Utilizando como referência o modelo SER de Rohrmann (2008), há uma clara influência da atitude ao risco no comportamento ao risco durante a avaliação subjetiva de riscos.

Devido as diferentes correntes de pesquisa na área de comportamento ao risco e a falta de consenso sobre a natureza e medidas de atitude ao risco, foram propostas diversas formas de identificação de comportamento ao risco. Segundo Zhang et al. (2018) as medidas de atitude ao risco, utilizadas para determinar o comportamento, são predominantemente de domínio específico, mas algumas pesquisas recentes tem defendido a disposição de um domínio geral.

Segundo Charness et al. (2020) diversas pesquisas concluíram existir inconsistências na comparação de diferentes medidas de atitudes ao risco e afirma que pouca atenção foi direcionada para entender o quão bem estes

modelos tem compatibilidade com o comportamento real das pessoas em campo. Através da investigação de cinco métodos em Charness et al. (2020) e três métodos em Galizzi e Navarro-Martinez (2019), ambos concluíram que as medidas de atitude não estão relacionadas com o comportamento de risco na realidade, levantando questionamentos sobre a utilização destes métodos com o propósito de identificar comportamentos reais ao risco.

Segundo Vermillion et al. (2015), tomada de decisão é uma atividade central no projeto de sistemas de engenharia, mas apesar do grande volume de pesquisas existentes, relativamente poucas aplicações incluem os aspectos comportamentais de engenheiros em suas abordagens de decisão. Mesmo que, dado o treinamento intensivo em abordagens matemáticas é possível que estes tenham menor influência aos efeitos subjetivos da iteração entre os sistemas cognitivos, entretanto, efeitos de enquadramento tem grande relevância para a comunicação de engenharia (o valor percebido de alternativas de decisão é influenciado pela forma que a informação é apresentada). Um comportamento natural observado em Vermillion et al. (2015) é que a atitude avessa ao risco é predominante quando os resultados de uma decisão são apresentados positivamente, enquanto uma atitude predominantemente neutra foi observada quando os resultados de uma decisão foram apresentados negativamente.

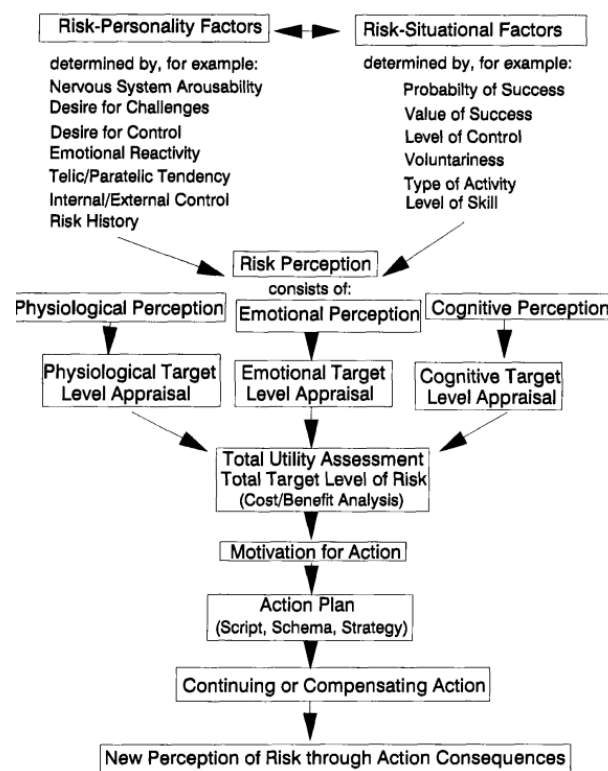
G.3.3 Modelos de comportamento ao risco

Trimpop (1994) apresenta a teoria de motivação ao risco (*Risk Motivation Theory - RMT*), Figura G.2, como um modelo dinâmico combinando variáveis de personalidade e situacionais para compreender o comportamento ao risco das pessoas. As propriedades físicas do sistema nervoso determinam a tendência básica de correr riscos. Entretanto, o modo que uma pessoa está, momentaneamente, determina as características fisiológicas, emocionais e cognitivas de experimentar correr riscos. O modo também depende de fatores situacionais como problemas de percepção, antecipação, stress, utilidade e probabilidade de resultados. Entretanto, qualquer seja a experiência de correr riscos (fisiológica, emocional ou cognitiva), ainda é uma função da avaliação

individual e total da utilidade dos componentes. Assim, os motivadores para correr riscos são:

- O desejo de experimentar a inerente e intrínseca recompensa por explorar e dominar o ambiente;
- As recompensas psicossociais e econômicas extrínsecas por correr risco proporcionadas pela sociedade.

Figura G.2 – Modelo *Risk Motivation Theory* – RMT.



Fonte: Trimpop (1994).

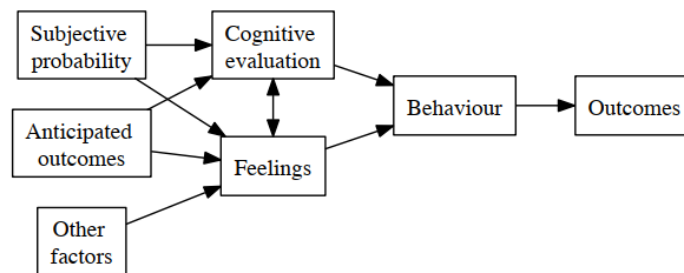
A estrutura da personalidade determina o nível básico de preferência ao risco de uma pessoa, enquanto as variáveis da situação determinam as flutuações momentâneas. O real comportamento ao risco é, portanto, um resultado da interação entre personalidade e variáveis da situação. Os seguintes elementos foram identificados, teórica e empiricamente, como importantes fatores para explicar o comportamento ao risco e constituem os componentes básicos do modelo proposto (Figura G.2):

- Diferenças individuais na motivação de correr riscos;

- Avaliação situacional de custo-benefício;
- Aspectos psicológicos, emocionais e cognitivos de correr riscos;
- Um processo de compensação comportamental para balancear a percepção de risco desejada;
- Um modelo de realimentação dinâmico.

Nyre e Jaatun (2013) apresenta um modelo, Figura G.3, de formação de comportamento para o contexto de sistemas de tecnologia da informação, utilizando a fundamentação de Loewenstein et al. (2001) (*risk as feelings*) onde os sentimentos e avaliações cognitivas são mutuamente influenciados e diretamente afetam o comportamento.

Figura G.3 – Modelo de formação de comportamento utilizando a teoria *risk as feelings*.



Fonte: Nyre e Jaatun (2013).

G.4 Métodos e medidas

As medidas e abordagens de identificação foram aglutinadas em função dos diferentes propósitos e inter-relação propostos de cada método. Por exemplo, o método DOSPERT (WEBER; BLAIS; BETZ, 2002) é uma abordagem de medida da atitude ao risco (*risk-taking*), realizada através da autodeclaração dos respondentes sobre: (i) a probabilidade de engajamento em atividades de risco (segundo Frey et al. (2017), classificado como: *self-reported propensity measures by assessing stated preferences*) e (ii) opcional, a percepção da magnitude do risco e benefícios esperados da atividade. Segundo Frey et al. (2017), para a correta utilização das diferentes medidas deve-se estar atento as

diferentes construções fundamentais que suportam cada modelo, dado que diferentes disciplinas como psicologia e economia adotam diferentes tradições.

Fischhoff et al. (1978) apresentam a análise de risco-benefício através de método psicométrico para avaliar a atitude ao risco de indivíduos (*societal risk-taking*) quanto ao uso de tecnologias e atividades. Os autores apresentam duas abordagens que podem ser tratadas como grandes categorias de métodos de medidas de atitude ou preferências ao risco:

- "*revealed preference*": adotado por Starr (1969), utiliza dados econômicos para revelar padrões de aceitabilidade do trade-off risco-benefício e usa como premissa que a sociedade converge, através de tentativa e erro, para um balanço ótimo entre riscos e benefícios associados com qualquer atividade.
- "*expressed preference*" adotado por Fischhoff et al. (1978) que utiliza questionários para medir a atitude ao risco-benefício do público em diferentes atividades, além de julgar o nível de voluntariedade de cada atividade ou tecnologia e outros potenciais moderadores da percepção e aceitação de riscos como familiaridade, consolabilidade percebida, potencial catastrófico, imediatismo de consequências.

G.4.1 Métodos de preferências ou atitudes reveladas (medidas de comportamento incentivadas)

Segundo Wärneryd (1996) os métodos para avaliar as atitudes de aversão e propensão ao risco no comportamento econômico tem como base experimentos de escolhas entre loterias. Neste contexto, existem diferentes formas de identificar atitudes ao risco com base em escolhas de loterias:

- Escolha entre uma alternativa garantida (*certainty*) e uma alternativa provável;
- Escolha entre duas alternativas prováveis com o mesmo ou diferentes valores esperados (*expected value*);

- Solicitar um certo valor equivalente a uma alternativa provável (*certainty-equivalent technique*);
- Solicitar uma alternativa de probabilidade que deixa o sujeito/respondente indiferente entre duas alternativas, em que uma delas é garantida (*lottery-equivalent technique*);
- Solicitar uma alternativa de probabilidade que deixa o sujeito/respondente indiferente entre duas alternativas, em que uma delas tem uma probabilidade conhecida (usualmente igual a 0,5).

As atitudes identificadas através de diferentes técnicas (exemplos acima) raramente são exatamente as mesmas. Isto é demonstrado pelo fenômeno reverso de preferência (*preference reversal phenomenon* (TAKEMURA, 2014)), que revela a mudança sistemática na preferência das pessoas entre opções.

Charness et al. (2013) apresentam diferentes métodos, não exaustivos, de identificação de preferências ao risco (*risk preferences*) desenvolvidos por pesquisadores economistas e psicólogos através de metodologias experimentais. Os métodos de identificação simples são de mais fácil compreensão dos participantes e são os mais efetivos na captura de efeitos de tratamento e diferenças na atitude ao risco individual. Os métodos de identificação simples apresentados são:

- *The Balloon Analogue Risk Task* (BART) (LEJUEZ et al., 2002): apresenta aos participantes uma simulação computacional com uma sequência de escolhas de ganhos adicionais de dinheiro por inflar uma série de balões, cada rodada (*balloon pump*) acompanha um certo risco de perder os ganhos acumulados (que não são apresentados durante a simulação) caso o balão estoure. Este procedimento foi projetado para modelar situações em que correr riscos excessivos leva a diminuição de retornos e maiores perigos e considera a média de bombeamentos para identificar o comportamento ao risco;

- Método de Gneezy e Potters (GNEEZY; POTTERS, 1997): provê uma medida de preferência de risos no contexto financeiro utilizando previsões de lucros monetários reais, através de simples escolha de quanto alocar entre ativos seguros e ativos de risco com determinado valor;
- Método de Eckel e Grossman (ECKEL; GROSSMAN, 2008): tem como objetivo identificar preferências de risco que produzem suficiente heterogeneidade em escolhas para permitir a estimação de parâmetros de utilidade (e.g., *constant relative risk aversion* - *CRRA*). Entretanto, o método não permite diferenciar entre diferentes graus de comportamento de candidato ao risco (*risk-seeking*).
- Métodos de múltiplas listas de preços (*multiple price lists* - *MPL*) criado por Binswanger (1981) e popularizado por Holt e Laury (2002), Figura G.4. Estes consistem em métodos mais complexos de identificação de preferências ao risco através de uma série de escolhas entre apostas. Dado a premissa de uma forma de função específica e dados de escolha refinados o suficiente entre apostas, é possível estimar intervalos cada vez mais precisos para os parâmetros da função utilidade ou usar métodos econométricos para obter valores pontuais das estimativas, assim extraíndo a preferência ao risco do participante. Uma desvantagem do método é que, dependendo da população, um número significativo de participantes irá falhar no entendimento do processo, reduzindo a confiabilidade do método.

Figura G.4 – Exemplificação do método Holt and Laury (HL).

MPL method.

Option A	Option B	Option A	Option B
1/10 of \$2, 9/10 of \$1.60	1/10 of \$3.85, 9/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2/10 of \$2, 8/10 of \$1.60	2/10 of \$3.85, 8/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3/10 of \$2, 7/10 of \$1.60	3/10 of \$3.85, 7/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4/10 of \$2, 6/10 of \$1.60	4/10 of \$3.85, 6/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5/10 of \$2, 5/10 of \$1.60	5/10 of \$3.85, 5/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6/10 of \$2, 4/10 of \$1.60	6/10 of \$3.85, 4/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7/10 of \$2, 3/10 of \$1.60	7/10 of \$3.85, 3/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8/10 of \$2, 2/10 of \$1.60	8/10 of \$3.85, 2/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9/10 of \$2, 1/10 of \$1.60	9/10 of \$3.85, 1/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10/10 of \$2, 0/10 of \$1.60	10/10 of \$3.85, 0/10 of \$0.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

From Holt and Laury (2002).

Fonte: Holt e Laury (2002).

A revisão da literatura de Lauriola e Weller (2018) complementa a lista de métodos desenvolvidos na abordagem com base em escolhas experimentais, considerando os seguintes:

- *Iowa Gambling Task - IGT* (BECHARA et al., 1994): os participantes são solicitados a comprar cartas de quatro baralhos disponíveis de diferentes valores e formas de pagamento. Dois desvantajosos baralhos, do ponto de vista de risco, conferem maiores recompensas na maioria das rodadas, mas também grandes perdas em outras, com um valor esperado de longo prazo negativo. Os outros dois baralhos são vantajosos do ponto de vista de risco, conferindo menores recompensas na maioria das rodadas, mas apenas pequenas e ocasionais perdas. Levando ao participante a aprender sobre os baralhos e tomar decisões que levam a identificação de comportamento ao risco;
- *Columbia Card Task - CCT* (FIGNER et al., 2009): neste método, os participantes fazem repetidas rodadas de virar cartas sequencialmente, de uma sequência de 32 cartas viradas com a face para baixo. Cada escolha é recompensada, ao menos se for virada uma carta de perda. Diferentemente dos outros métodos, os participantes são informados precisamente quanto a magnitude de ganhos, perdas e probabilidades associadas, de forma a limitar o aprendizado do participante.

G.4.2 Métodos de preferências ou atitude ao risco expressas (medidas de propensão ao risco autodeclaradas)

A revisão de literatura sobre métodos de identificação de comportamento de Lauriola e Weller (2018) categoriza os métodos de autoavaliação em dois grupos. Primeiro, consiste em métodos que perguntam diretamente ao indivíduo sobre o seu comportamento ao risco, percepções de risco ou a probabilidade de assumir determinado comportamento no futuro. Alguns autores tem usado uma única questão sobre o comportamento ao risco de forma genérica (DOHMEN et al., 2011) ou incluído avaliações globais de comportamento ao risco ao longo de domínios de interesse (NICHOLSON et al., 2005). Segundo, consistem em métodos de autoavaliação de comportamento incluindo escalas de múltiplos

itens para prover mais precisão na medida de comportamento ao risco em domínios específicos, como o DOSPERT (WEBER; BLAIS; BETZ, 2002).

Rohrmann (2005) apresenta uma revisão de métodos de questionário voltados para identificar atitude ao risco (*risk propensity mind-sets*), baseados em declarações sobre a orientação de aceitar riscos, conforme os seguintes métodos:

- EVQ Venturesomeness Questionnaire
- TRA Tension/Risk/Adventure Scale
- DQS Decision Q-Sort
- DRP Risk-taking Propensity
- TPF T-type Personality Scale
- ROQ Risk Orientation Questionnaire
- LRP Risk propensity
- SIRI Stimulating-Instrumental Risk Inventory
- DOSPERT Domain-specific Risk Attitude Scale

Rohrmann (2005) também propõe novos instrumentos de medida de atitude ao risco (*mind-set* no sentido de aceitar ou evitar riscos) através de novos questionários, conforme:

- *Risk Orientation Questionnaire* (ROQ): voltado para a orientação geral para aceitar riscos, utiliza um formato de escala de atitude em cinco níveis de concordância e provê questões para expressar propensão ao risco e evitar riscos;
- *Risk Propensity - Holistic Questions* (RPQ): Questões diretas para autoavaliação de propensão ao risco através de avaliação geral da atitude ao risco e propensão ao risco em domínio específico (para domínios relevantes);
- *Risk Situation Questionnaire* (RSQ): Apresenta cenários de pessoas enfrentando situações com boas razões para aceitar riscos e também

para evitar riscos e questiona ao respondente o quão provável ele aceitaria decidir por um comportamento arriscado em tal situação (domínio específico) utilizando uma escala de avaliação em dez níveis (extremos: definitivamente não e com certeza);

- *Risk Motivation Questionnaire* (RMQ): Elabora um conjunto de motivações que podem induzir as pessoas a engajar em atividades arriscadas e solicita aos respondentes para escalarem riscos específicos que elas estão familiarizadas em como influenciar essas motivações, em situações pertinentes através de (sub)questionários separados para diferentes tipos de riscos.

As conclusões preliminares de Rohrmann (2005) indicam que atitude ao risco é multidimensional, não é generalizável para diferentes domínios e tem motivações variáveis dependentes do tipo de risco.

Weber et al. (2002) apresentam a escala psicométrica DOSPERT, definida como uma abordagem de medida de atitude ao risco (autodeclarada) para diferentes domínios, que é realizada através da avaliação da probabilidade de engajar em atividades arriscadas ao risco (Parte 1 – parcialmente reproduzida na Figura G.5) e da percepção da magnitude e benefícios esperados ao risco – *perceptions of the magnitude and expected benefits* (Parte 2 – opcional, Figura G.6).

A escala DOSPERT está fundamentada no modelo risco-retorno (*psychological risk–return models*), onde preferência ao risco (ou atitude ao risco no entendimento da psicologia social) é assumida refletir o trade-off entre benefício esperado (normalmente equacionado por valor esperado) e o risco percebido.

A preferência ao risco (Parte 1), é avaliada através da escolha de probabilidade (*likert scale*) que um respondente está disposto a submeter-se em atividades arriscadas de cinco diferentes domínios específicos (decisões financeiras, saúde/segurança, recreacional, ética e sociais), compondo 40 questões. A Parte 2, opcional, avalia a percepção do respondente quanto a magnitude do risco e os benefícios esperados das atividades julgadas na Parte 1. Enquanto a Parte 1 apenas está interessada em identificar a atitude ao risco de um indivíduo, a parte

2 é utilizada para determinar se a diferença nas preferências é derivada da atitude ao risco ou da percepção do risco.

Figura G.5 – Reprodução parcial da Parte 1 do método DOSPERT – autodeclaração da probabilidade de engajamento em atividades arriscadas em cinco diferentes domínios.

For each of the following statements, please indicate your **likelihood** of engaging in each activity or behavior. Provide a rating from **1 to 5**, using the following scale:

	1	2	3	4	5
	Very unlikely	Unlikely	Not sure	Likely	Very likely
1. Admitting that your tastes are different from those of your friends. (S)					_____
2. Going camping in the wilderness, beyond the civilization of a campground. (R)					_____
3. Betting a day's income at the horse races. (G)					_____
4. Buying an illegal drug for your own use. (H)					_____
5. Cheating on an exam. (E)					_____
6. Chasing a tornado or hurricane by car to take dramatic photos. (R)					_____
7. Investing 10% of your annual income in a moderate growth mutual fund. (I)					_____

Fonte: Weber et al. (2002).

Figura G.6 – Reprodução da Parte 2 do método DOSPERT – avaliação da magnitude percebida de risco e benefícios.

APPENDIX D

Instructions and scales for risk perceptions scale

People often see some risk in situations that contain uncertainty about what the outcome or consequences will be and for which there is the possibility of 'bad' consequences. However, riskiness is a very personal and intuitive notion, and we are interested in **your gut level assessment of how risky** each situation is.

For each of the following statements, please indicate **how risky you perceive** each situation. Provide a rating from **1 to 5**, using the following scale:

	1	2	3	4	5
	Not at all risky		Moderately risky		Extremely risky

Instructions and scales for expected benefits scale

For each of the following statements, please indicate **the benefits** you would obtain from each situation. Provide a rating from **1 to 5**, using the following scale:

	1	2	3	4	5
	No benefits at all		Moderate benefits		Great benefits

Fonte: Weber et al. (2002).

Segundo Althouse et al. (2017), a escala DOSPERT pode ser considerada o padrão atual no campo de julgamento e tomadas de decisão com a sua abrangência de utilização. Blais e Weber (2006) restringem a premissa sobre a consistência de atitude ao risco ao longo de domínios, para situações onde o

risco percebido é estatisticamente controlado. Segundo Althouse et al. (2017), os autores do DOSPERT se afastaram da noção que atitude diante de riscos é consistente ao longo de domínios.

Zhang et al. (2018) apresentam uma investigação da natureza da atitude ao risco como uma disposição de personalidade e de domínio geral e desenvolvem uma medida denominada *General Risk Propensity Scale* (GRiPS). Este modelo está fundamentado na definição que a propensão geral de correr riscos é a tendência de uma pessoa em engajar em comportamentos com uma perspectiva de consequências (perdas, dano ou falha) ao longo de diferentes situações (*cross-situational*).

A escala inicial (14 itens) de medida de propensão ao risco geral GRiPS resultou em 8 itens finais de composição, Figura G.7, após análises de consistência interna, carga dos fatores conteúdo e qualidade, definidos a partir dos autores e contendo seis categorias de itens relacionados a personalidade. Com a utilização da escala em uma amostra de 1523 participantes e utilizando uma escala likert de 5 níveis para as respostas (1 - discordo fortemente à 5 – concordo fortemente) a escala GRiPS de 8 níveis obteve validade de convergência com relação a duas medidas de atitude ao risco conhecidas (JPI e DOSPERT).

Figura G.7 – Itens de composição da escala GRiPS.

Index	Item
1	Taking risks makes life more fun
2	My friends would say that I'm a risk taker
3	I enjoy taking risks in most aspects of my life
4	I would take a risk even if it meant I might get hurt
5	Taking risks is an important part of my life
6	In general, I avoid taking risks (-)
7	I generally like to "play it safe" (-)
8	I commonly make risky decisions
9	I am a believer of taking chances
10	When taking a chance, I focus more on winning than on possibly losing
11	I am attracted, rather than scared, by risk
12	I generally avoid risky situations (-)
13	I focus more on the positive outcomes of risk, rather than negative ones
14	You never get anywhere without taking chances

Note. Final eight-item version of the General Risk Propensity Scale (GRiPS) are in bold.

Fonte: Zhang et al. (2018).

G.4.2.1 Abordagens de autoavaliação de características de personalidade

Lauriola e Weller (2018) apresentam uma revisão sobre as abordagens de autoavaliação de características de personalidade (*Self-Report Trait-Based Approaches*), onde os pesquisadores de personalidade desenvolveram modelos e correspondentes escalas que tentam representar os indicadores emocionais, cognitivos e comportamentais que predispõe o indivíduo a apresentar determinado comportamento ao risco. Estes indicadores incluem elementos de preferência diante de incerteza, busca de emoção, prevenção de danos e impulsividade. Alguns métodos são:

- Métodos que provêm uma pontuação total que assume através da variação de um único fator: *Jackson Personality Inventory (JPI)* e *Personality Inventory for DSM-5 (PID-5)*;
- Métodos que consideram a tendência de correr riscos como um fenômeno multidimensional: *Stimulating-Instrumental Risk Inventory (SIRI)* e *RT-18*.

APÊNDICE H - DETALHAMENTO DO PROCESSO GENÉRICO DE UTILIZAÇÃO DO MÉTODO iRML

H.1 Processo de utilização do método

O método aplicando o conceito iRM proposto neste trabalho pode ser utilizado para diferentes aplicações como o gerenciamento contínuo de riscos ou em situações de tomadas de decisão singulares. É possível separar o processo de utilização do método nas três etapas de planejamento, execução (avaliação do iRML) e consolidação e comunicação dos resultados.

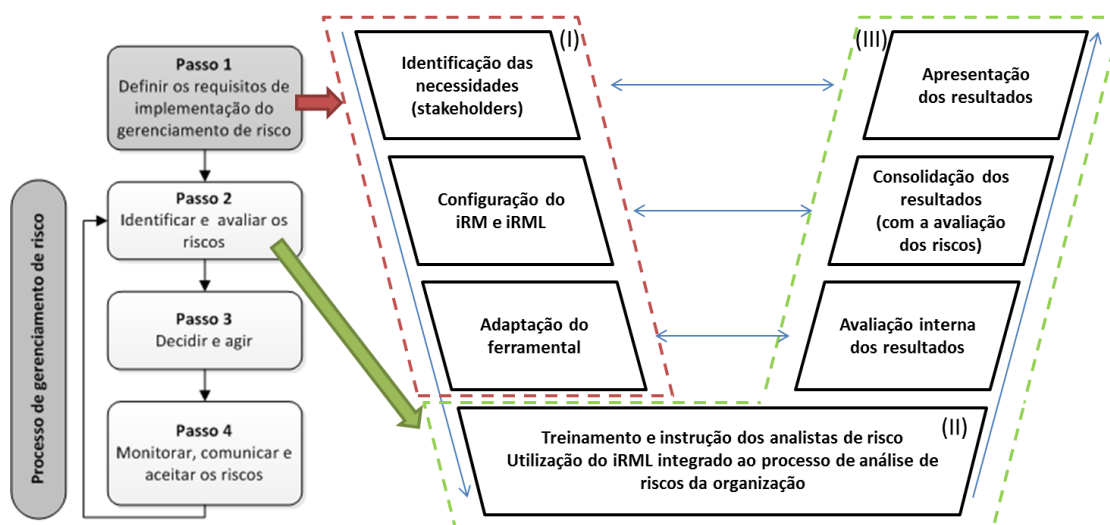
A primeira etapa (I) consiste na adequação dos conceitos, formas de expressão (comunicação) e ferramenta de análise de risco ao uso pretendido (lado esquerdo do modelo em Vê), a segunda etapa (II) consiste no treinamento e realização da análise do iRML (parte inferior do modelo em Vê) e, por último (III), a consolidação e comunicação dos resultados (lado direito do modelo em Vê).

Utilizando como referência o processo genérico de gerenciamento de riscos da ECSS (ECSS, 2008), que é estruturado em quatro passos (*steps* 1 - 4), as atividades para utilização do método usando iRM devem ser integradas ao passo 1 e 2, conforme representado na Figura H.1.

Nota-se que a etapa (I) do processo iRM pode ser completamente absorvida do passo 1 do modelo ECSS, pois é o momento do processo em que as definições para implementação do gerenciamento de risco são realizadas. Entretanto, as etapas (II) e (III) do processo iRM são aglutinadas ao passo 2 do processo ECSS, abrangendo o processo de avaliação do iRML, consolidação com as demais informações de avaliação do risco (e.g., níveis de probabilidade de ocorrência e impacto) e disponibilização (comunicação) dessas informações para tomada de decisão.

O processo de suporte contínuo de gerenciamento de risco, apresentado transversalmente ao processo ECSS, pode adotar entre seus critérios, uma lógica incluindo o nível de iRML mínimo aceitável para a análise de um risco, similar ao conceito *Stopping Problem* (FEDUZI, 2010).

Figura H.1 - Integração do processo utilizando iRM no modelo de gerenciamento de riscos da ECSS.



Fonte: Adaptada de ECSS (2008).

O *stopping problem* tem origem na teoria de probabilidade lógica de J. M. Keynes (KEYNES, 1921), definido como o problema de encontrar um princípio racional para decidir onde parar o processo de aquisição de informação para a formação do julgamento de probabilidade antes de tomar uma decisão. Segundo Feduzi (2010), Keynes foi hesitante sobre a relevância prática do conceito de peso de evidências (*weight of evidence*) no processo racional de tomada de decisão devido, principalmente, ao *stopping problem*, por não ter encontrado uma solução racional e permanente para esta questão. Feduzi (2010) argumenta que, em situações de escolha práticas, o decisor decide parar o processo de aquisição de informações seguindo o aconselhamento de Keynes em considerar o grau de completude da informação disponível antes de realizar uma decisão, implicando, segundo Runde (1990) que o decisor é capaz de chegar em uma avaliação da dimensão da ignorância relevante (*relevant ignorance*) sobre a decisão. Entretanto, Feduzi (2010) aponta que neste sentido, a avaliação da ignorância relevante sobre determinada situação tem natureza subjetiva, tornando a medida de peso das evidências altamente subjetiva.

A questão de ignorância relevante é, portanto, um importante elemento a ser levado em consideração em tomadas de decisão e pode revelar o nível de

surpresas esperado (*gray saws – known unknown* (FAULKNER; FEDUZI; RUNDE, 2017) ou *black saws – unknown unknowns* (TALEB, 2007)).

H.1.1 Etapa (I) do processo de utilização do iRM: adequação de conceitos, formas de expressão (comunicação) e ferramental

Na etapa (I) as necessidades dos stakeholders, com a visão de utilização do método proposto, são capturadas, traduzidas e aplicadas na formação do iRM e iRML, incluindo a adaptação das ferramentas de identificação do iRML e alinhamento quanto o entendimento e definição de conceitos.

A identificação das necessidades dos stakeholders de um projeto, quanto aos aspectos que definem a análise de risco (termo genérico), consiste na primeira atividade necessária para a utilização do método iRM. A atividade de capturar as necessidades de stakeholders deve absorver o nível de esforço necessário para a realização da análise de risco e traduzi-los nos seguintes aspectos de formação da política de riscos a ser adotada:

- definição de conceitos fundamentais (adequação ao propósito);
- nível de detalhamento desejado da análise;
- formação do conceito iRM e sua medida iRML;
- forma de utilização (e.g., como um critério no gerenciamento de riscos ou indicador de maturidade para tomada de decisão) e comunicação (e.g., informação documentada descritiva ou gráfica) da medida iRML;
- forma de avaliação (processo) e importância dos elementos componentes do iRML (para configuração de ferramental).

Em um segundo momento, a formação do iRM, iRML e seus elementos de composição devem ser congelados para o determinado contexto. A organização determinada a utilização do método deve adotar um padrão fixado de formação do iRM e iRML para permitir julgamentos comparativos entre diferentes projetos. A formação detalhada apresentada neste capítulo tem como objetivo principal aplicação na fase de concepção do desenvolvimento de sistemas espaciais,

entretanto, pode ser replicada para outros contextos por constituir de elementos genéricos para suportar a avaliação de maturidade de um risco.

A adaptação do ferramental consiste em aplicar as definições em modelos, softwares ou qualquer meio utilizado para a avaliação e comunicação (apresentação) do iRML. No contexto desse trabalho, uma ferramenta auxiliar foi desenvolvida para utilização no ambiente específico de engenharia simultânea.

H.1.2 Etapa (II) do processo de utilização do iRM: treinamento e realização da análise do iRML

A segunda parte do processo consiste no treinamento dos potenciais avaliadores de riscos quanto aos conceitos, metodologia (processo) e instruções de uso de ferramentas e da realização da avaliação do iRML (parte inferior do modelo em Vê).

A participação no treinamento também pode ser estendida aos usuários dos resultados da análise do risco, para facilitar o entendimento e comunicação posteriores. O treinamento tem importância fundamental na capacitação e conscientização dos envolvidos quanto aos conceitos estabelecidos e os possíveis impactos do iRML para futuras utilizações dos resultados da análise de risco. Isso promove uma percepção de importância coletiva, por explicitamente apresentar as responsabilidades da avaliação do iRML e limita eventuais vieses motivacionais.

A avaliação do iRML deve ser integrada à avaliação do risco, de acordo com o processo adotado pela organização, e aproveitar o momento de avaliação do risco (e.g., julgamento da probabilidade de ocorrência e impacto) dado que parte importante dos elementos a serem avaliados estão relacionados a este processo. A formação do iRM e iRML desenvolvidas tem característica de neutralidade conceitual, buscando compatibilidade com diferentes abordagens de avaliação de risco. Esse aspecto está em convergência com os princípios e esforços da SRA como apresentado em (SRA, 2018a), (SRA, 2018c) e (SRA, 2018b) quanto ao desenvolvimento de métodos universais de análise de risco.

H.1.3 Etapa (III) do processo de utilização do iRM: consolidação e comunicação dos resultados

A consolidação e comunicação dos resultados (lado direito do modelo em vê) consiste na integração *bottom-up* do iRML e consolidação desse resultado com o julgamento do risco (e.g., avaliação da probabilidade de ocorrência e impacto).

A formação de uma medida iRML como, por exemplo, na forma híbrida pode ser automatizada através de ferramentas computacionais customizadas, facilitando o processo. Entretanto, este ferramental deve possuir mecanismos que evitem falhas da avaliação (e.g., gaps ou descontinuidades de avaliação) e permitir a rastreabilidade entre a formação final do iRML e os julgamentos dos elementos formadores. Essa atividade permite a verificação de inexistência de erros nas configurações implementadas no ferramental, que é realizada no lado direito do modelo em vê.

A integração da medida iRML com os demais elementos de julgamento do risco, denominado de processo de integração, pode assumir uma forma independente, conforme modelos de expressão do iRML híbrido. Assim, a consolidação de todas as informações da análise do risco se dá de forma automática, apenas por formação de um conjunto de gráficos ou descrições. Essa atividade permite a verificação da configuração (formação) do iRM e iRML adotados em termos dos elementos de composição.

A última atividade consiste na apresentação dos resultados e formatação das informações geradas, etapa considerada crítica, pois é responsável por transmitir todos os aspectos importantes de maturidade do risco. Esta forma de comunicação deve ser clara e de fácil entendimento pelos stakeholders. Essa atividade permite a validação do método, quanto ao atendimento das necessidades dos stakeholders ao prover as informações da análise do risco.

APÊNDICE I - ANÁLISE COMPARATIVA DE COMPOSIÇÃO DO RKM E DIFERENTES MODELOS DE SOK

Considerando que a proposta de RKML foi construída utilizando como referência o conceito SoK, revisão de literatura e, principalmente, com a consideração de atributos de interesse para o contexto específico (fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais), uma análise comparativa dos critérios propostos do RKML, na forma de alternativas de decisão, com alguns modelos de SoK disponíveis na literatura é apresentada na Tabela I.1. Naturalmente, os elementos de avaliação que constituem o conhecimento e que suportam a análise de riscos são comuns em quase todos os modelos de SoK, em alguns casos com pequenas variações.

A comparação se dá considerando os atributos avaliados relativos a cada elemento, por exemplo, na coluna referente ao RKML estão indicados todos os atributos a serem considerados na avaliação, inclusive aqueles utilizados somente nas alternativas de decisão propostas (como formadores de ou características que definem um atributo de mais alto nível). O método utilizado é a separação (*parsing*) dos atributos a serem caracterizados para a formação de julgamento de cada elemento.

O elemento de avaliação de premissas assumidas é tratado em maior nível de detalhamento em Bani-Mustafa et al. (2020c) por tratar-se de uma abordagem com base em riscos provenientes de desvios de premissas assumidas (*assumption deviation risks method* (AVEN, 2013a; BERNER; FLAGE, 2016a)). Este método alternativo para avaliação do SoK utiliza a avaliação de riscos de desvio das premissas assumidas (*criticality of assumptions*), fundamentado no entendimento que premissas fracas são a fonte principal de pequeno conhecimento (AVEN, 2013a). Enquanto o RKML, apesar de não utilizar este método em totalidade, também prevê a avaliação de características sobre as premissas, com o mesmo objetivo.

Atributos de dados e informações utilizadas na análise do risco são amplamente utilizadas nas propostas de SoK e estão presentes em diferentes graus de detalhamento. Destaca-se o atributo de acurácia (*accuracy*) de dados e

informações que é parte do SoK em Goerlandt e Montewka (2014) e Bani-Mustafa et al. (2020c), quanto a definição do conceito, pois acurácia está relacionada à comparação entre o valor obtido e o valor verdadeiro, levantando a questão de como saber o valor verdadeiro? Alternativamente, a formação do RKML adota o atributo de precisão que avalia o comportamento de dispersão dos dados (espalhamento) com relação à natureza do fenômeno sob avaliação, ou seja, se é possível reconhecer maturidade de conhecimento ao risco avaliado com esta referência de comparação.

No elemento julgamentos, todos os modelos de SoK analisados avaliam ao menos algum atributo. Destaca-se o RKML, onde o atributo subjetivo e relacionados à percepção do avaliador sobre o julgamento é considerado explicitamente. Conforme argumentação já apresentada, a avaliação deste atributo provê uma forma de equilibrar o julgamento geral do RKML.

O elemento ferramentas e processos de busca de dados e informações em conjunto com o elemento modelos do fenômeno (ferramentas de análise) avaliados na Tabela I.1 apresentam as características desdobradas do atributo ferramentas de processos (identificador 1.1.7) do RKML. Essa separação das características avaliadas foi realizada para mostrar que há uma diferença importante entre o RKML e os modelos SoK.

O primeiro elemento (ferramentas e processos de busca de dados e informações) tem um interesse especial para este trabalho devido as características do contexto de fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais, em que, normalmente, há um número limitado de dados e informações disponíveis (comparativamente com outras naturezas de sistemas terrestres e de menor complexidade) e também é dependente da maturidade e experiência da organização no desenvolvimento de múltiplas e diversificadas missões. Enquanto nas alternativas analisadas de SoK não há destaque para estas características.

O segundo elemento (modelo do fenômeno) está presente na construção do SoK de outros trabalhos, exceto em Bani-Mustafa et al. (2020c) por tratar-se de uma proposta de avaliação de SoK do próprio modelo do fenômeno. Este elemento

considera atributos adicionais para o RKML devido a sua importância para o contexto de aplicação.

O elemento fenômeno envolvido possui atributos avaliados nas construções de SoK sob análise e também no RKML, mas está refletido no atributo conhecimento específico de forma mais ampla, dado que, na fase conceitual de um projeto os fenômenos relacionados ao risco são normalmente menos específicos e, portanto, tratados com menos ênfase no RKML. Inversamente, quanto ao elemento conhecimento, este possui atributos avaliados em todos modelos de SoK exceto em Flage e Aven (2009), onde o foco é a avaliação específica de conhecimento sobre o fenômeno relacionado ao risco.

Tabela I.1 - Análise comparativa de construção do RKML com diferentes modelos de SoK.

Elemento	Atributo	Referência				
		[1]	[2]	[3]	[4]	RKML
Premissas assumidas	grau de razoabilidade (simplificações)	X	X		X	X
	conhecimento pessoal				X	X
	fontes de informação				X	X
	plausibilidade e inexistência de vieses				X	
	independência relativa				X	
	experiências passadas				X	X
	medidas de desempenho				X	
	concordância entre especialistas				X	
Dados e informações	quantidade	X	X	X	X	X
	relevância		X		X	X
	confiabilidade	X		X	X	X
	completude			X	X	X
	acurácia			X	X	
	precisão (dispersão)					X
	validade (pragmatismo)				X	X
	consistência					X
	atualidade temporal				X	X
	fundamentos					X
	disponibilidade					X
	facilidade de acesso					X
	número de fontes					X
Julgamentos	grau (nível) de concordância entre especialistas	X	X	X		X
	número de especialistas envolvidos				X	X
	nível de confiança no julgamento					X
	nível de incerteza percebida no julgamento					X

continua

Tabela I.1 – Conclusão.

Elemento	Atributo	Referência				
		[1]	[2]	[3]	[4]	RKML
Fenômeno envolvido	grau de entendimento	X	X	X	X	^a
	estudos acadêmicos sobre o fenômeno				X	
	evidência industrial ou aplicação				X	
Ferramentas e processos de busca de dados e informações	confiabilidade de fontes (bases)					X
	relevância de fontes (bases)					X
	maturidade do processo					X
Modelos do fenômeno (ferramentas de análise)	existência	X	X			X
	precisão de predições	X	X	X		
	nível de detalhe			X		
	nível de coerência teórica					X
	concordância de especialistas					X
	experiência de utilização					X
	programa de atualizações e revisões					X
Conhecimento	grau de exploração		X			X
	experiência do avaliador			X	X	X
	conhecimento específico					X ^a

[1] (FLAGE; AVEN, 2009)

[2] (AVEN, 2017a)

[3] (GOERLANDT; MONTEWKA, 2014)

[4] (BANI-MUSTAFA et al., 2020c)

^a O conhecimento sobre o fenômeno envolvido no risco é avaliado de forma mais ampla no atributo conhecimento específico.

Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE J - DISCUSSÃO CONCEITUAL E COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS SER E RARA

Esta comparação utiliza dois modelos globais que relacionam os principais conceitos de interesse (comportamento e percepção de risco), modelo RARA (HILLSON; MURRAY-WEBSTER, 2011) e modelo SER (ROHRMANN, 2008).

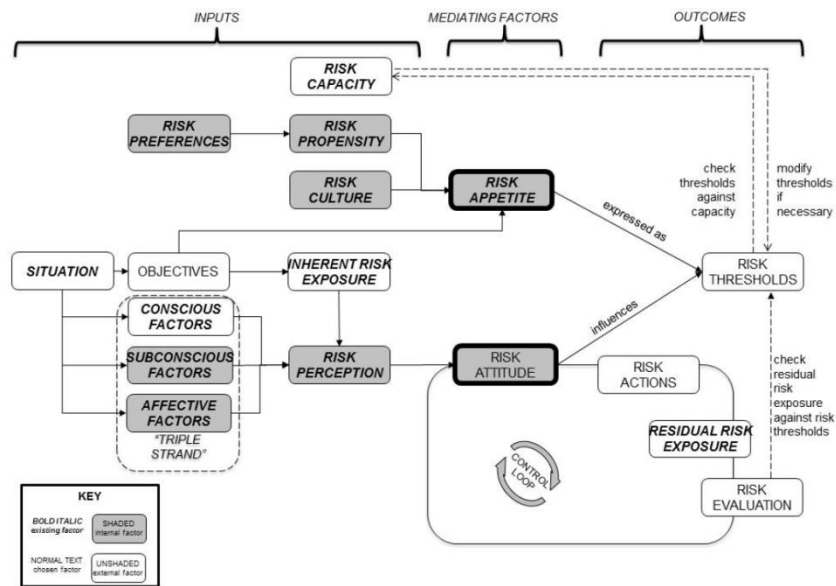
O modelo *Risk Appetite - Risk Attitude (RARA)* proposto por Hillson e Murray-Webster (2011) e Hillson (2012), representado na Figura J.1, mostra a relação entre apetite ao risco e atitude ao risco como dois fatores principais em um modelo unificado. O modelo tem como objetivo primário servir como ferramenta de controle dos limites de risco (*risk threshold*) assumidos em determinada situação, a fim de garantir que estes sejam apropriados e não excedam a capacidade de risco definida, portanto, voltado para o gerenciamento de riscos de projetos e organizações que adotam o modelo racionalista de tomadas de decisão.

Neste modelo, apetite ao risco é definido como a tendência interna de correr riscos (*risk taking*) em determinada situação, que reflete a cultura organizacional ao risco (*organizational risk culture*) e a propensão ao risco de stakeholders principais. Enquanto atitude ao risco é definida como uma resposta ao risco escolhida pelo indivíduo e direcionada pela percepção, podendo agir como um ponto de controle para garantir que a "quantidade" certa e otimizada de risco seja assumida, de acordo com os objetivos (HILLSON; MURRAY-WEBSTER, 2011).

Nota-se que o modelo RARA não apresenta o termo comportamento ao risco (*risk behavior*) quando comparado com outros modelos e os conceitos da área econômica (*behavioral economics*), mas é possível interpretá-lo de duas formas distintas ao adotar a definição de comportamento ao risco como a resposta real de um indivíduo ao risco, proposta por Rohrmann (2005). A primeira interpretação é modificar o modelo quanto a união (ligação) das saídas dos fatores de atitude e apetite ao risco, formando um novo elemento denominado de comportamento ao risco, que estaria localizado na parte das saídas do modelo e conectado ao fator ações ao risco (*risk actions*). Na segunda

interpretação, o comportamento ao risco pode ser entendido como parte do fator ações ao risco (*risk actions*), entretanto, há um conflito de definições, dado que ação ao risco no modelo RARA significa a implementação da(s) ação(ões) planejada(s) para mitigação de risco, conforme os modelos genéricos do ciclo de gerenciamento de riscos.

Figura J.1 – Representação do modelo RARA.



Fonte: Adaptada de Hillson e Murray-Webster (2011).

Portanto, as definições atuais do modelo RARA são divergentes das definições adotadas neste trabalho de pesquisa. Onde a definição de comportamento ao risco tem uma interpretação mais abrangente com significado de qualquer ação tomada diante de um evento de risco em um modelo de RIDM (e.g., tomada de decisão de um especialista, avaliador de um risco, durante a avaliação do risco), que é diferente do ciclo de gestão de riscos ou *Continuous Risk Management – CRM* da NASA, conforme (NASA, 2011).

O conceito de atitude ao risco como uma resposta escolhida (deliberada), definido por Hillson e Murray-Webster (2011), apresenta conflito com o conceito de comportamento ao risco (*risk behavior*). Também se nota que o ciclo de gerenciamento de risco, denominado de loop de controle, apresenta a atitude ao risco diretamente conectada à ação ao risco (*risk actions*) sem uma avaliação

intermediária e não há indicação do processo de identificação do risco, conforme os modelos tradicionais de gerenciamento de riscos.

Os modelos de RARA (HILLSON; MURRAY-WEBSTER, 2011) e o modelo de avaliação subjetiva de risco SER (ROHRMANN, 2008) tem objetivos distintos quanto aplicabilidade e fundamentação, por isso apresentam diferentes estruturas e conceitos. Enquanto o modelo RARA é simultaneamente normativo e descritivo e tem o objetivo de aplicação no gerenciamento de riscos de projetos, o modelo SER é fundamentalmente descritivo para o entendimento de como se dá a formação de comportamento ao risco em avaliações para tomada de decisão de forma mais ampla.

O fundamento do modelo RARA, quanto gerenciamento de um limite de risco a ser assumido em um determinado projeto ou esforço, sustenta decisões com base em risco (*risk-based approach*) que utiliza e interpreta os resultados da análise de risco como elementos analíticos e está em divergência com a fundamentação proposta neste trabalho.

Ambos os modelos são referências encontradas na literatura que apresentam a iteração dos diversos elementos de formação da percepção e comportamento ao risco, que são de interesse neste trabalho. Os modelos apresentam algumas diferenças conceituais e semelhanças importantes que estão consolidadas na Tabela J.1.

No modelo RARA (HILLSON, 2012), a propensão ao risco também está presente e, neste caso, definida como a tendência geral de cada indivíduo quanto a correr riscos, guiado pelo conjunto de traços de personalidade ou motivações inatas, denominado de preferências ao risco.

Enquanto a atitude ao risco é uma escolha deliberada por um indivíduo, influenciada por um conjunto de fatores de percepção denominado de *triple strand*, representado na Figura J.2, incluindo fatores conscientes (avaliações racionais), subconscientes (heurísticas e vieses cognitivos) e afetivos (sentimentos e emoções). Neste conceito, atitude ao risco pode assumir uma variedade infinita de possíveis estados, em analogia a um espectro contínuo, com referência ao nível de conforto ao risco assumido, conforme ilustrado no

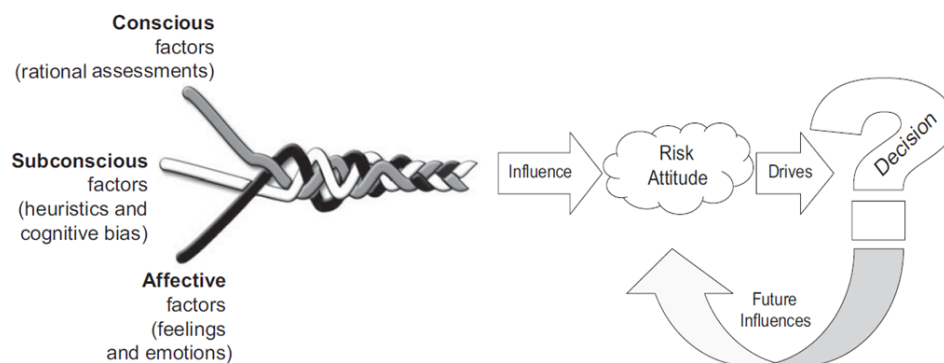
gráfico da Figura J.3. Entretanto, quatro posições básicas permitem uma generalização das atitudes ao risco: avesso ao risco (*risk averse*), busca de risco (*risk seeking*), tolerante ao risco (*risk tolerant*) e neutro ao risco (*risk neutral*) (MURRAY-WEBSTER; HILLSON, 2008).

Tabela J.1 – Consolidação da análise comparativa entre modelo RARA e modelo SER.

Análise	Modelo RARA	Modelo SER
Geral	Assume a existência de um limite de risco. Essa abordagem não é compatível com o fundamento do atual trabalho – <i>risk-based vs risk-informed</i> ; Não apresenta o termo comportamento ao risco (necessidade de interpretações); Não apresenta a identificação de risco.	Não apresenta explicitamente como se dá a formação da atitude ao risco (e.g., de forma intuitiva ou deliberada racionalmente). Conforme a definição, um <i>mind-set</i> orientado a correr ou evitar riscos, interpreta-se que é algo intuitivo; Não apresenta explicitamente como se dá a relação da atitude ao risco com a percepção de risco.
Diferenças	Apresenta a formação da atitude com influência da percepção de risco; Apresenta fatores de contexto somente da organização de projeto.	Os conceitos de atitude e percepção são paralelos; Amplia a utilização para qualquer contexto.
Semelhanças	ambos apresentam fatores cognitivos e emocionais como influências do comportamento.	

Fonte: Produção do autor.

Figura J.2 – Formação da atitude ao risco (*triple strand*).



Fonte: Hillson (2012).

Figura J.3 – Espectro da atitude ao risco.

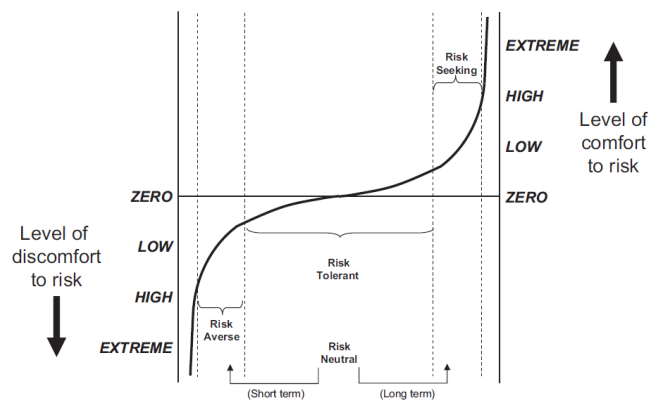


Figure 1.2 Risk attitude spectrum
(adapted from Hillson and Murray-Webster, 2007)

Fonte: Hillson (2012).

Dado que o modelo RARA apresenta o fator atitude ao risco e também propensão ao risco, é possível interpretar que há uma proposta de separação entre as diferentes naturezas de influência da intensão de agir diante do risco. Neste sentido, a atitude ao risco considera as influências de percepção de risco (situação e contexto) enquanto a propensão ao risco considera os traços de personalidade (características inatas do indivíduo). Esta mesma ideia é utilizada no modelo de (ROHRMANN, 2008), que distingue a atitude ao risco da percepção de risco como construções diferentes e sem influência entre ambas.

Nota-se que existem semelhanças nos dois conceitos apresentados quanto a formação da atitude ao risco, quanto aos elementos de contexto que as influenciam, entretanto, adotam perspectivas diferentes. O conceito de (ROHRMANN, 2008), modelo SER, atribui a formação de atitude ao risco orientada às influências do contexto apresentando uma visão detalhada destes fatores, que denominamos de visão externa (ao indivíduo). Enquanto o conceito de Hillson e Murray-Webster (2011) é orientado à perspectiva cognitiva ou mental do indivíduo que recebe e processa os diversos fatores de influência do contexto, além dos fatores subconscientes, apresentando uma visão que denominamos interna.

APÊNDICE K - DISCUSSÃO SOBRE O MÉTODO DE QUESTIONÁRIO DIRETO UTILIZADO PARA IDENTIFICAR O COMPORTAMENTO AO RISCO DO ELEMENTO RP&RB

K.1 Discussão geral sobre a classe de método questionário (medida de propensão autodeclaradas avaliando preferências estabelecidas)

Um método de questionário direto com base em autodeclaração de propensão ao risco é proposto para composição do RP&RB. A literatura apresenta argumentos favoráveis e desfavoráveis a esta classe de método, conforme apresentados e discutidos a seguir.

Fischhoff et al. (1978) afirmam que pesquisas utilizando procedimentos de perguntas diretas tem, frequentemente, alta correlação com o comportamento ao risco de indivíduos. Altahouse et al. (2017) concluem que a avaliação direta de comportamento e atitude ao risco é mais apropriada do que modelos aditivos de fatores específicos e produz uma descrição mais precisa do que a soma de respostas de domínios específicos (referindo-se ao método DOSPERT).

Enquanto Lauriola e Weller (2018), apesar de afirmarem que as medidas autodeclaradas tendem a prever melhor os resultados do que apostas experimentais singulares (*one-shot gambles*), mantém certo ceticismo quanto as diferenças entre os resultados obtidos. O ceticismo apresentado por Lauriola e Weller (2018) é válido para o presente trabalho, entretanto, o método selecionado possui vantagens de agilidade, fácil compreensão e comunicação que argumentam a sua utilização nesta proposta.

Charness et al. (2013) apresentam o possível problema de representatividade e veracidade de identificação de comportamento e atitude ao risco utilizando métodos de questionários por não serem incentivados, em comparação aos métodos de apostas com ênfase em situações de tomada de decisão financeira. Quanto a esta questão, o método proposto neste trabalho possui diversos incentivos subjacentes às tomadas de decisão de um avaliador de risco, por se tratar de um ambiente profissional onde a credibilidade e ética profissionais tem relevância para as tomadas de decisão.

K.2 Discussão específica sobre o método de questão geral de Dohmen et al. (2011)

O método aplicado na pesquisa de Dohmen et al. (2011) consiste do simples procedimento de perguntar aos participantes diretamente a disposição de correr riscos de uma forma geral. O participante classifica a sua disposição de correr riscos em uma escala de 0 a 10, onde o valor zero corresponde à menor disposição. A questão geral a ser aplicada é a seguinte: Como você vê a si mesmo(a), você geralmente é uma pessoa que está totalmente preparada para correr riscos ou você tenta evitar correr riscos?

As pesquisas de investigações de diferentes medidas de atitude ao risco de Charness et al. (2013) e de Galizzi e Navarro-Martinez (2019) concluíram que as medidas de atitude ao risco normalmente não estão relacionadas com o comportamento de risco real, levantando questionamentos sobre a utilização destes métodos com o propósito de identificar preferências reais ao risco.

Charness et al. (2020) utilizaram um conjunto amostral único para comparar as medidas de: autodeclaração de disposição de correr riscos (WTR) (DOHMEN et al., 2011)), procedimento de preferencias reveladas em atividade de investimento (GP) (GNEEZY; POTTERS, 1997), procedimento de preferencias reveladas em seleção de loterias (EG) (ECKEL; GROSSMAN, 2008), procedimento de preferencias reveladas em seleção de lista de pares de loterias (HL) (HOLT; LAURY, 2002) e procedimento de preferencias reveladas em seleção de múltiplas listas de pares de loterias (TCN) (TANAKA; CAMERER; NGUYEN, 2016). Este estudo concluiu que as metodologias disponíveis têm validade laboratorial, mas não refletem o comportamento real ao risco (observado) e que os métodos mais complexos tiveram melhores resultados neste contexto. Entretanto, para validação de comportamento real, o questionário geral de Dohmen et al. (2011) obteve resultados superiores aos demais métodos comparados.

Andersen et al. (2008) e Harrison et al. (2005) encontraram evidências de estabilidade temporal ao avaliar preferências ao risco utilizando método de questionário geral de autodeclaração de comportamento ao risco, mesmo

fundamento do método de Dohmen et al. (2011), enquanto métodos com base em escolhas lotéricas não apresentaram esta característica.

Lönnqvist et al. (2015) realizaram comparações empíricas entre o método escolhas de loterias HL Holt e Laury (2002) e o questionário de Dohmen et al. (2011) e concluíram que os resultados de ambos os métodos tem fraca correlação e somente a medida derivada do questionário mostrou estabilidade de teste-reteste, em período de um ano, além de correlação com a medida de personalidade *Big Five* e alta correlação com o comportamento ao risco real, observado em ambiente laboratorial. Os métodos com base em escolhas lotéricas são obviamente mais fáceis de tradução em índices formais, portanto, são preferíveis em situações utilizando parâmetros de funções utilidade, entretanto, evidências têm sido apresentadas indicando que essas medidas têm nível considerável de ruído, que variam de acordo com o método utilizado e habilidade cognitiva do participante. Portanto, mesmo que as medidas derivadas dos métodos de questionário gerem dificuldade para transformação em parâmetros numéricos e potencialmente possam não revelar o verdadeiro comportamento (devido a transparência e honestidade do respondente), ainda possuem credibilidade preditiva de comportamento, além de serem mais baratos e fáceis de aplicação.

Zhang et al. (2018) cita o método de Dohmen et al. (2011) como uma exceção notável para medida de um item singular de comportamento ao risco geral, diferentemente de outros métodos que avaliam comportamento ao risco em um domínio único ou ao longo de diferentes domínios.

APÊNDICE L – PROBLEMAS DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS, ATRIBUIÇÃO DE PESOS E MODELOS DE AGREGAÇÃO

L.1 Teoria de tomadas de decisão multicritérios

Os problemas de Tomadas de Decisão Multicritérios (MCDM) ou de Análise de Decisão Multicritérios (MCDA) são classificados em dois principais tipos de problemas, de acordo com o seu objetivo. O primeiro deles, consiste em buscar soluções alternativas através da resolução de modelos matemáticos que resulta em determinado número de soluções viáveis ao problema multicritério, denominado de *Multiple-criteria design problems* e consiste das etapas de estruturação do problema de decisão, obtenção de informações de preferências dos atributos e a agregação das preferências na obtenção de um conjunto de valores para os múltiplos atributos (GRECO; EHRGOTT; FIGUEIRA, 2016).

O segundo tipo de problema, denominado *Multiple-criteria evaluation problems*, consiste de um número finito de alternativas explicitamente conhecidas no início do processo de solução, representados por parâmetros de desempenho ou valor, cujo interesse é encontrar a melhor alternativa de solução ou conjunto de alternativas, ou classificar as alternativas em ordem de importância de acordo com os critérios estabelecidos (GRECO; EHRGOTT; FIGUEIRA, 2016).

Existem diferentes métodos para solução dos problemas de MCDM e MCDA que são classificados de diferentes maneiras. Segundo Greco et al. (2016) as classes principais são: Outranking Methods (French School), Interactive Multiobjective Optimization (MOP), Evolutionary Multiobjective Optimization (EMO) e Multiattribute Utility Theory (MAUT) / Multiattribute Value Theory (MAVT).

No método MAUT/MAVT, que é utilizado como referência para construção do iRML híbrido, o valor ou utilidade dos critérios assumem medidas numéricas que representam a preferência entre as alternativas de decisão e utiliza um modelo matemático (função) multiatributos que é associada a cada alternativa de decisão, cuja resolução provê um valor de importância relativa entre as alternativas. Entretanto, no caso deste trabalho, a associação é feita para cada risco identificado e avaliado.

Os métodos MAUT/MAVT utilizam duas principais formas da função de agregação, aditiva ou multiplicativa, onde os valores ou critérios individuais são combinados aos respectivos pesos de importância e resultam em um valor ou utilidade final (SITE; FILIPPI, 2009).

L.2 Métodos de atribuição de pesos

A definição dos pesos é dependente do método de identificação utilizado e, apesar do grande número de propostas existentes na literatura, encontrar consenso no método mais apropriado para um certo cenário é difícil, se não, impossível. Segundo Deng et al. (2000) não há um único método que possa gerar pesos mais precisos em todas as situações. As pesquisas sobre métodos de atribuição de pesos buscam demonstrar a confiabilidade e a validade dos modelos através de três principais critérios: validação de convergência, consistência interna (confiabilidade) e validade externa.

Weber e Borchering (1993) sugeriram que a importância de atributos pode ser concebida como um processo de ancoragem e ajustamento (relacionado à heurística de ancoragem), onde os pesos intuitivos (nível global) servem como ancoras que são ajustados de acordo com o range de cada atributo em um problema e contexto específicos (nível local).

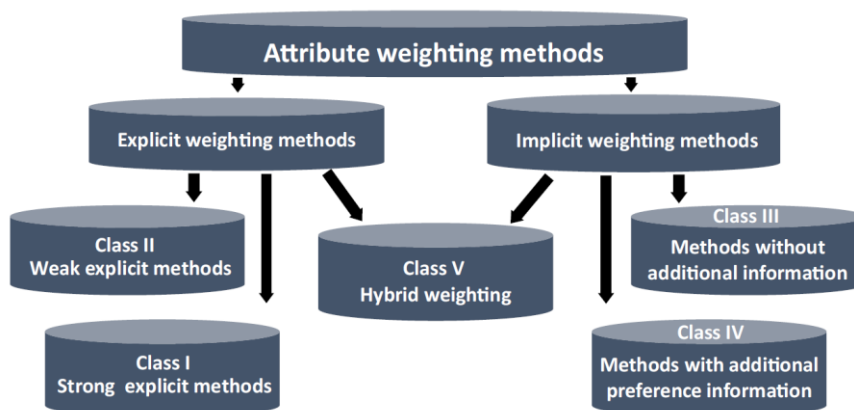
Segundo Barron e Barret (1996a) os pesos intuitivos (subjetivos) refletem uma atitude geral de um sujeito diante de um atributo e um range implícito dos resultados. Assim, quanto maior o range de um atributo, maior é o seu peso, *ceteris paribus*. Os pesos exatos (“corretos”) dos atributos são desconhecidos e a abordagem de determinação que resultam em pesos exatos impõe uma precisão que pode estar ausente na mente do decisor. Este argumento também é apresentado por outros autores, incluindo em Borchering et al. (1995) na afirmação que a busca por precisão na determinação dos pesos pode ser uma ilusão.

Weber e Borchering (1993) analisaram diversas influências de comportamento humanos que afetam o julgamento de pesos que denominaram de vieses dos pesos (*weight biases*), como: efeito do range do atributo, efeito de apresentação do atributo em nível de agregação ou desagregação (*attribute splitting*), efeito de

mudança do nível do atributo em uma árvore hierárquica de valor, divergência entre avaliação holística e decomposição, diferenças de atividade e diferenças entre métodos de determinação.

Pena et al. (2020) apresentam uma revisão de literatura sobre os métodos de determinação de pesos e propõe uma nova estrutura de categorização para substituir a classificação corrente, que distingue entre métodos objetivos, subjetivos e híbridos, utilizando somente o critério de subjetividade, ou seja, o uso de crenças e sentimentos. Enquanto a nova proposta tem como base o tipo de informação requerida e a extensão em que o tomador de decisão reflete a sua opinião sobre os atributos. A estrutura de categorização proposta por Pena et al. (2020) é apresentada na Figura L.1, onde o primeiro nível distingue em métodos explícitos, em que as informações são diretamente relacionadas com a importância dos atributos e implícitos, onde as informações não tem relação direta com a importância dos atributos. Os métodos explícitos, por sua vez, são subcategorias em um segundo nível, de acordo com a acurácia da informação, enquanto os métodos implícitos são subcategorias de acordo com a necessidade de informações adicionais para a definição dos pesos.

Figura L.1 - Categorização de métodos para definição de pesos de atributos.



Fonte: Pena et al. (2020).

Dezenas de métodos para definição de pesos de atributos são propostos e comparados na literatura. Esses possuem diferentes desempenhos, naturezas e propósitos de utilização, constituindo de métodos mais simples como a alocação direta de pesos ou, de valores numéricos que são transformados em pesos, ou

ordenação de importância dos atributos, gerando os chamados pesos substitutos (*surrogate weights* (BARRON; BARRETT, 1996a)) ou pesos de atributos ordenados (*ranked attribute weights* (BARRON; BARRETT, 1996b)). Até métodos que necessitam de moderado esforço computacional para solução de equações complexas.

Alguns métodos considerados mais simples para a definição de pesos de atributos, classificados como métodos explícitos na categorização de Pena et al. (2020), são apresentados a seguir conforme definições de Doyle et al. (1997) e (BOTTOMLEY; DOYLE, 2001):

- Equal Weights (EW): todos os atributos possuem o mesmo peso;
- Direct Rating (DR): alocação de valor de importância [0-100] para cada atributo para definir diretamente o seu peso;
- Point Allocation (PA): alocação do budget de 100 pontos entre as alternativas;
- Min10: o atributo menos importante recebe 10 pontos e os demais são avaliados com esta referência (em uma escala sem limite superior);
- Max100: o atributo mais importante recebe 100 pontos e os demais são avaliados com esta referência em uma escala de [0, 99].

Os métodos que geram pesos substitutos, através da classificação ordinal dos atributos, foram criados para evitar as dificuldades associadas com a determinação detalhada dos pesos e a falsa ilusão de precisão que representa as informações que o decisor está mais confiante. Os principais métodos dessa natureza são apresentados a seguir conforme definições de Barron e Barret (1996a) e Barron e Barret (1996b):

- Rank-Sum (RS) - Os pesos correspondem à classificação de importância, normalizados pela soma de todas as classificações;
- Reciprocal of the Ranks (RR) - Determina pesos relativos com base recíproca das classificações;

- Rank-Order Centroid (ROC) - Calculado através dos vértices de um simple.g., As coordenadas do centroide (pesos) são calculadas pela média das coordenadas correspondentes aos vértices, definidos pelo espaço de pesos viáveis gerado pelas desigualdades lineares formuladas (restrições do espaço viável de pesos) (SOLYMOSI; DOMBI, 1986).

As abordagens para tomada de decisão multiatributos utilizam os métodos conforme originalmente definidos, variações ou combinações destes, levando ao compartilhamento de processos importantes, como por exemplo, o Simple Multiattribute Rating Technique (SMART) (EDWARDS, 1977) que realiza a classificação dos atributos do menos para o mais importante e o pior atributo recebe 10 pontos enquanto os demais atributos são avaliados (na sequência de classificação) julgando a razão de importância entre os elementos avaliados.

Um sumário dos métodos de interesse investigados nesse trabalho é apresentado na Tabela L.1. Dado a importância do método SMART e sua utilização no método proposto (iRML híbrido), uma Seção específica é apresentada na Seção L.3, seguinte

Tabela L.1 – Sumário dos métodos de atribuição de pesos investigados.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências
Equal Weights (EW)	Todos os atributos possuem o mesmo peso.	$w_i = \frac{1}{n}, i = 1, \dots, n$	Utilizado na ausência de informações sobre os pesos dos atributos. Assume que a classificação de importância é inconsequente.	Dawes and Corrigan 1974 Barron, Barret 1996 Ahn 2011
Direct Rating (DR)	Alocação de valor de importância [0-100] para cada atributo para definir diretamente o seu peso.	$w_i = \frac{Rating_i}{\sum_{i=1}^n Rating_i}, i = 1, \dots, n$	Produz pesos aproximadamente lineares classificados por importância.	Doyle et al. 1997 Bottomley, Doyle and Green 2000 Bottomley, Doyle 2001 Pöyhönen, Hämäläinen 2001 Roberts, Goodwin 2002 Pena et al 2020
Point Allocation (PA)	Aloca budget de 100 pontos entre as alternativas.	N.A.	Produz pesos não lineares. Necessita da realização de julgamento de importância e também prestar atenção no balanço de pontos disponíveis para alocação, gerando "ruídos" para o julgamento.	Doyle et al. 1997 Bottomley, Doyle and Green 2000 Roberts, Goodwin 2002 Pena et al 2020
Min10	O atributo menos importante recebe 10 pontos e os demais são avaliados com o respectivo critério de relevância (em uma escala sem limite superior).	$w_1 > w_2 > \dots > w_n > 0,$ $w_n \rightarrow 10; w_{n-1} \rightarrow Score_{w_{n-1}}; \dots; w_1 \rightarrow Score_{w_1},$ $w_i = \frac{Score_{w_i}}{\sum_{i=1}^n Score_{w_i}},$ $Score_{w_{n-i}} \in \mathbb{Z} \mid 10 < Score_{w_{n-i}} < \infty,$ $i = 1, 2, \dots, n$	Possui qualidade inferior e é mais difícil de utilização comparado com Max100 e DR.	Doyle et al. 1997 Bottomley, Doyle 2001 Pena et al 2020
Max100	O atributo mais importante recebe 100 pontos e os demais são avaliados com esta referência em uma escala de [0, 99].	$w_1 > w_2 > \dots > w_n > 0,$ $w_1 \rightarrow 100; w_2 \rightarrow Score_{w_2}; \dots; w_n \rightarrow Score_{w_n},$ $Score_{w_2} = 100 - x_2$ $w_i = \frac{Score_{w_i}}{\sum_{i=1}^n Score_{w_i}}$	Possui alta consistência interna (confiável em teste-retestes).	Doyle et al. 1997 Bottomley, Doyle 2001 Pena et al 2020

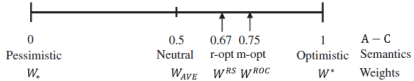
continua

Tabela L.1 – Continuação.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências
TRADE-OFF	<p>O procedimento consiste de comparar duas alternativas hipotéticas que diferem em apenas dois atributos, enquanto os demais são mantidos no mesmo nível.</p> <p>A forma mais usual do método considera que uma alternativa tem o melhor resultado no primeiro atributo e o pior resultado no segundo atributo, enquanto a outra alternativa tem o pior resultado no primeiro atributo e melhor resultado no segundo atributo. Através da escolha da alternativa preferida entre as duas, o tomador de decisão decide qual é o atributo mais importante.</p> <p>A etapa crítica é ajustar o resultado do atributo em função de resultar indiferença (ou de igual preferência) entre as duas alternativas. Tal indiferença deve ser identificada para n-1 pares de alternativas significativamente selecionadas. Com a função de valor condicional conhecida e utilizando a condição de normalização (soma dos pesos igual a 1), os pesos dos atributos podem ser derivados solucionando o sistema de equações.</p>	$w_1 v_1(x_1) + w_2 v_2(x_2) = w_1 v_1(y_1) + w_2 v_2(y_2),$ <p>Onde (x_1, x_2) e (y_1, y_2) são os pares de atributos das alternativas 1 e 2 comparadas.</p>	<p>O método trade-off é algébrico, de decomposição e indireto.</p> <p>Requer o conhecimento das componentes de valor (v_i) para todo o range dos atributos.</p> <p>O formato da função de valor afeta os pesos.</p> <p>Assume que os atributos são avaliados em escala contínua.</p>	<p>Keeney and Raiffa, 1976</p> <p>Weber, Borcharding 1993</p> <p>Fischer, 1995</p> <p>Pöyhönen, Hämäläinen 2001</p>
Swing Rating (weighting)	<p>O processo inicia pela alternativa com os piores resultados em todos os atributos ou a imaginação de uma alternativa hipotética com todos os atributos no pior nível possível. Ao tomador de decisão é permitido mudar um atributo do seu pior nível para o melhor de cada vez. Assim, o DM é questionado sobre qual "swing" (mudança do pior para o melhor nível) de um atributo resultaria no melhor resultado, seguindo para o segundo melhor, e assim por diante. O atributo com o swing de maior preferência é o mais importante, e arbitrariamente recebe 100 pontos. A magnitude de todos os outros swings são expressos como percentuais relativos ao mais importante. Os percentuais derivados são os "pesos brutos" que são normalizados para gerar os pesos finais.</p>	N.A.	<p>O método swing é algébrico, de decomposição e direto.</p>	<p>von Winterfeldt and Edwards, 1986</p> <p>Weber, Borcharding 1993</p> <p>Pöyhönen, Hämäläinen 2001</p> <p>Pena et al 2020</p>

continua

Tabela L.1 – Continuação.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências
<p>Maximun Entropy Ordered Weighted Averaging (MEOWA)</p>	<p>Utiliza o conceito de <i>ordered weighted averaging (OWA)</i> de Yager (1988) para determinação de pesos considerando o grau de otimismo do tomador de decisão, denominado caráter de atitude (<i>attitudinal character measure A – C</i>).</p> <p>A – C assume atitude otimista quando é igual a 1, pessimista quando é igual a 0 e neutro quando igual a 0,5.</p>  <p>Fig. 1. The attitudinal character, semantics, and approximate weights.</p> <p>Yager (1988) associou uma medida de entropia com os pesos (W) do método OWA para medir o grau de informação utilizado na sua agregação.</p> <p>O'Hagan (1990) determinou uma classe especial de operador OWA de pesos que possui a máxima entropia para um valor especificado de caráter de atitude, denominado Ω, com base em um problema de otimização. Os pesos resultantes são chamados <i>maximum entropy OWA (MEOWA) weights</i>.</p>	$\text{Maximize} - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i$ $\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-1)w_i = \Omega, 0 \leq \Omega \leq 1$ $\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$	<p>Fundamentado no método de agregação Ordered Weighted Averaging (OWA) que faz a agregação de múltiplos argumentos de entrada (<i>inputs</i>) para tomada de decisão sob incerteza (DMUU).</p> <p>OWA é um método de agregação não linear em que os pesos são associados de acordo com as suas magnitudes (de valor) no processo de agregação.</p>	<p>Yager (1988) O'Hagan (1990) Filev and Yager (1995) Fuller and Majlender (2001) Ahn 2011</p>

continua

Tabela L.1 – Continuação.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências																																								
Simos' Procedure (SP)	Os DMs utilizam uma analogia ao uso de cartas com os nomes dos atributos para determinação de classificação ordinal e também em conjuntos de classes. Primeiramente o DM recebe um conjunto de cartas com os nomes dos atributos e outro conjunto de cartas em branco. Em seguida, o DM é solicitado a ordenar as cartas (nominadas) de forma crescente de importância e também considerar conglomerados (classes) de cartas com a mesma ordem de classificação (<i>sets of ex aequo</i>) e quando julgar necessário, utilizar maior distanciamento de importância entre os grupos utilizando como separador as cartas em branco.	<p>Table 2 Determination of the attribute weights according to the Simos procedure</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Subsets of <i>ex aequo</i></th> <th># of cards</th> <th>Positions</th> <th>Non-normalized weights</th> <th>Normalized weights</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A₇A₂A₄</td> <td>3</td> <td>1, 2, 3</td> <td>$\frac{1+2+3}{3} = 2$</td> <td>$\frac{2}{60} \cdot 100 \approx$</td> </tr> <tr> <td>A₁A₆</td> <td>2</td> <td>4, 5</td> <td>$\frac{4+5}{2} = 4.5$</td> <td>$\frac{4.5}{60} \cdot 100 \approx$</td> </tr> <tr> <td>White card</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>A₈A₁₀</td> <td>2</td> <td>7, 8</td> <td>$\frac{7+8}{2} = 7.5$</td> <td>$\frac{7.5}{60} \cdot 100 \approx$</td> </tr> <tr> <td>A₉</td> <td>1</td> <td>9</td> <td>9</td> <td>$\frac{9}{60} \cdot 100 \approx$</td> </tr> <tr> <td>A₅A₃</td> <td>2</td> <td>10, 11</td> <td>$\frac{10+11}{2} = 10.5$</td> <td>$\frac{10.5}{60} \cdot 100 \approx$</td> </tr> <tr> <td>Total amount</td> <td>11</td> <td>60</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> </tbody> </table>	Subsets of <i>ex aequo</i>	# of cards	Positions	Non-normalized weights	Normalized weights	A ₇ A ₂ A ₄	3	1, 2, 3	$\frac{1+2+3}{3} = 2$	$\frac{2}{60} \cdot 100 \approx$	A ₁ A ₆	2	4, 5	$\frac{4+5}{2} = 4.5$	$\frac{4.5}{60} \cdot 100 \approx$	White card	1	6	A ₈ A ₁₀	2	7, 8	$\frac{7+8}{2} = 7.5$	$\frac{7.5}{60} \cdot 100 \approx$	A ₉	1	9	9	$\frac{9}{60} \cdot 100 \approx$	A ₅ A ₃	2	10, 11	$\frac{10+11}{2} = 10.5$	$\frac{10.5}{60} \cdot 100 \approx$	Total amount	11	60	<p>A mudança de um atributo para uma conjunto diferente de classificação (<i>ex aequo</i>) pode alterar consideravelmente outros atributos que não são movidos. A razão de importância entre o atributo mais relevante e o menos relevante (<i>z</i>) é fortemente dependente do número de elementos dos conjuntos de atributos.</p> $z = \frac{p \left(\sum_{i=0}^{q-1} (T - 1) \right)}{q \left(\sum_{i=0}^{p-1} (1 + i) \right)}$ <p>Onde, <i>p</i> é o número de elementos nos subconjuntos de menor importância <i>q</i> é o número de elementos nos subconjuntos de maior importância <i>T</i> é o número de cartas</p>	<p>Figueira and Roy, 2002 Pena et al 2020</p>
		Subsets of <i>ex aequo</i>	# of cards	Positions	Non-normalized weights	Normalized weights																																						
A ₇ A ₂ A ₄	3	1, 2, 3	$\frac{1+2+3}{3} = 2$	$\frac{2}{60} \cdot 100 \approx$																																								
A ₁ A ₆	2	4, 5	$\frac{4+5}{2} = 4.5$	$\frac{4.5}{60} \cdot 100 \approx$																																								
White card	1	6																																								
A ₈ A ₁₀	2	7, 8	$\frac{7+8}{2} = 7.5$	$\frac{7.5}{60} \cdot 100 \approx$																																								
A ₉	1	9	9	$\frac{9}{60} \cdot 100 \approx$																																								
A ₅ A ₃	2	10, 11	$\frac{10+11}{2} = 10.5$	$\frac{10.5}{60} \cdot 100 \approx$																																								
Total amount	11	60																																								

continua

Tabela L.1 – Continuação.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências
<p>Analytic Hierarchy Process (AHP)</p> <p>"Eigenvector method"</p>	<p>O AHP consiste de um método de decisão completo, onde a etapa de estabelecimento de prioridades ou importância entre atributos (importância para este trabalho) é descrita a seguir.</p> <p>O avaliador é solicitado a comparar a importância de dois atributos de cada vez (<i>pairwise comparison</i>) através de alocação de razões de importância (i / j) para indicar a força de suas preferências (ou impacto no elemento hierárquico superior) utilizando números inteiros de 1 a 9.</p> <p>As comparações são plotadas em uma matriz ($A_{n \times n}$), de acordo com as razões de comparação estabelecidas, onde os valores simétricos da matriz são recíprocos. A partir da matriz o vetor de prioridade dos atributos é definido.</p> <p>O vetor de pesos dos atributos V_A é determinado pelo autovetor associado ao maior autovalor da matriz de comparações par à par dos atributos. Existem dois métodos para determinar as prioridades ou pesos dos atributos: exato ou aproximado.</p> <p>No método exato, a matriz de comparação é elevada a uma determinada potência n vezes até que todas as colunas se tornem idênticas (limit matrix (Mu et al 2016)) ou atendam um pequeno valor predeterminado (Saaty 2013) e neste estado, o somatório das linhas e sua normalização, representa o conjunto desejado de prioridades dos atributos.</p> <p>No método simplificado (somente válido para uma matriz de comparação com inconsistência muito baixa), uma aproximação das prioridades é obtida fazendo a normalização das médias geométricas das linhas da matriz de comparações dos atributos (Saaty 2013 ; Bani-Mustafa et al 2020). Outra forma simplificada é a normalização dos elementos de cada coluna e calcular a média aritmética de cada linha da matriz de comparação dos atributos (Saaty 2013; Mu et al 2016).</p> <p>Por fim, o autovalor da matriz é avaliado para verificar a consistência dos julgamentos (razão de consistência CR).</p>	N.A.	<p>É principalmente utilizado para tomadas de decisão em grupos. As variantes do AHP utilizam o mesmo processo de definição de pesos (<i>pair-wise comparison</i>). Para aplicações importantes ou exatas o procedimento de derivação do autovetor deve ser utilizado, pois as formas de aproximação podem gerar alteração de classificação (<i>rank reversal</i>) de acordo com a proximidade dos resultados.</p>	<p>Saaty 1977; 1980 ; 1994; 2013</p> <p>Pöyhönen, Hämäläinen 2001</p> <p>Ahn 2011</p> <p>Mu et al 2016</p> <p>Bani-Mustafa et al 2020</p>

continua

Tabela L.1 – Continuação.

RANKED ATTRIBUTE WEIGHTS METHODS																																																																																																																												
Para evitar as dificuldades associadas com a determinação detalhada dos pesos e, talvez, uma falsa precisão são considerados “pesos substitutos” (<i>surrogate weights</i>) que representam as informações que o decisor está mais confiante somente utilizando a classificação de importância (ordinal) dos atributos.																																																																																																																												
Método	Definição	Formulação	Características	Referências																																																																																																																								
Rank-Sum (RS)	Os pesos correspondem à classificação de importância, normalizados pela soma de todas as classificações.	$w_i = \frac{n + 1 - i}{\sum_{j=1}^n j} = \frac{2(n + 1 - i)}{n(n + 1)}, i = 1, \dots, n$ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; font-size: small;"> <thead> <tr> <th colspan="10">Attributes</th> </tr> <tr> <th>Rank</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.6667</td><td>0.5000</td><td>0.4000</td><td>0.3333</td><td>0.2857</td><td>0.2500</td><td>0.2222</td><td>0.2000</td><td>0.1818</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.3333</td><td>0.3333</td><td>0.3000</td><td>0.2667</td><td>0.2381</td><td>0.2143</td><td>0.1944</td><td>0.1778</td><td>0.1625</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>0.1667</td><td>0.2000</td><td>0.2000</td><td>0.1905</td><td>0.1786</td><td>0.1667</td><td>0.1556</td><td>0.1455</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>0.1000</td><td>0.1333</td><td>0.1429</td><td>0.1429</td><td>0.1389</td><td>0.1333</td><td>0.1277</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>0.0667</td><td>0.0952</td><td>0.1071</td><td>0.1111</td><td>0.1111</td><td>0.1083</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0476</td><td>0.0714</td><td>0.0833</td><td>0.0889</td><td>0.0909</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0357</td><td>0.0556</td><td>0.0667</td><td>0.0714</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0278</td><td>0.0444</td><td>0.0526</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0222</td><td>0.0370</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0303</td></tr> </tbody> </table>	Attributes										Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	0.6667	0.5000	0.4000	0.3333	0.2857	0.2500	0.2222	0.2000	0.1818	2	0.3333	0.3333	0.3000	0.2667	0.2381	0.2143	0.1944	0.1778	0.1625	3		0.1667	0.2000	0.2000	0.1905	0.1786	0.1667	0.1556	0.1455	4			0.1000	0.1333	0.1429	0.1429	0.1389	0.1333	0.1277	5				0.0667	0.0952	0.1071	0.1111	0.1111	0.1083	6					0.0476	0.0714	0.0833	0.0889	0.0909	7						0.0357	0.0556	0.0667	0.0714	8							0.0278	0.0444	0.0526	9								0.0222	0.0370	10									0.0303	O atributo mais importante assume peso igual a $n/(\text{soma das classificações})$ e o menos importante assume peso igual a $1/(\text{soma das classificações})$.	Stillwell et al 1981 Barron, Barret 1996 Barron, Barret 1996(b) Roberts, Goodwin 2002 Ahn 2011
Attributes																																																																																																																												
Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																			
1	0.6667	0.5000	0.4000	0.3333	0.2857	0.2500	0.2222	0.2000	0.1818																																																																																																																			
2	0.3333	0.3333	0.3000	0.2667	0.2381	0.2143	0.1944	0.1778	0.1625																																																																																																																			
3		0.1667	0.2000	0.2000	0.1905	0.1786	0.1667	0.1556	0.1455																																																																																																																			
4			0.1000	0.1333	0.1429	0.1429	0.1389	0.1333	0.1277																																																																																																																			
5				0.0667	0.0952	0.1071	0.1111	0.1111	0.1083																																																																																																																			
6					0.0476	0.0714	0.0833	0.0889	0.0909																																																																																																																			
7						0.0357	0.0556	0.0667	0.0714																																																																																																																			
8							0.0278	0.0444	0.0526																																																																																																																			
9								0.0222	0.0370																																																																																																																			
10									0.0303																																																																																																																			
Reciproca l of the Ranks (RR)	Determina pesos relativos com base recíproca das classificações.	$w_i = \frac{1/i}{\sum_{j=1}^n 1/j}, i = 1, \dots, n$ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center; font-size: small;"> <thead> <tr> <th colspan="10">Attributes</th> </tr> <tr> <th>Rank</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.6667</td><td>0.5455</td><td>0.4800</td><td>0.4379</td><td>0.4082</td><td>0.3857</td><td>0.3679</td><td>0.3535</td><td>0.3429</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.3333</td><td>0.2727</td><td>0.2400</td><td>0.2190</td><td>0.2041</td><td>0.1928</td><td>0.1840</td><td>0.1767</td><td>0.1707</td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td>0.1818</td><td>0.1600</td><td>0.1460</td><td>0.1361</td><td>0.1286</td><td>0.1226</td><td>0.1178</td><td>0.1137</td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td>0.1200</td><td>0.1095</td><td>0.1020</td><td>0.0964</td><td>0.0920</td><td>0.0884</td><td>0.0854</td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td>0.0876</td><td>0.0816</td><td>0.0771</td><td>0.0736</td><td>0.0707</td><td>0.0683</td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0680</td><td>0.0643</td><td>0.0613</td><td>0.0589</td><td>0.0569</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0551</td><td>0.0525</td><td>0.0505</td><td>0.0487</td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0460</td><td>0.0442</td><td>0.0427</td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0393</td><td>0.0380</td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0.0364</td></tr> </tbody> </table>	Attributes										Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	0.6667	0.5455	0.4800	0.4379	0.4082	0.3857	0.3679	0.3535	0.3429	2	0.3333	0.2727	0.2400	0.2190	0.2041	0.1928	0.1840	0.1767	0.1707	3		0.1818	0.1600	0.1460	0.1361	0.1286	0.1226	0.1178	0.1137	4			0.1200	0.1095	0.1020	0.0964	0.0920	0.0884	0.0854	5				0.0876	0.0816	0.0771	0.0736	0.0707	0.0683	6					0.0680	0.0643	0.0613	0.0589	0.0569	7						0.0551	0.0525	0.0505	0.0487	8							0.0460	0.0442	0.0427	9								0.0393	0.0380	10									0.0364	Os pesos não normalizados são $1, 1/2, \dots, 1/n$ e são divididos pela soma destes termos (normalização).	Stillwell et al 1981 Barron, Barret 1996 Barron, Barret 1996(b) Roberts, Goodwin 2002 Ahn 2011
Attributes																																																																																																																												
Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																			
1	0.6667	0.5455	0.4800	0.4379	0.4082	0.3857	0.3679	0.3535	0.3429																																																																																																																			
2	0.3333	0.2727	0.2400	0.2190	0.2041	0.1928	0.1840	0.1767	0.1707																																																																																																																			
3		0.1818	0.1600	0.1460	0.1361	0.1286	0.1226	0.1178	0.1137																																																																																																																			
4			0.1200	0.1095	0.1020	0.0964	0.0920	0.0884	0.0854																																																																																																																			
5				0.0876	0.0816	0.0771	0.0736	0.0707	0.0683																																																																																																																			
6					0.0680	0.0643	0.0613	0.0589	0.0569																																																																																																																			
7						0.0551	0.0525	0.0505	0.0487																																																																																																																			
8							0.0460	0.0442	0.0427																																																																																																																			
9								0.0393	0.0380																																																																																																																			
10									0.0364																																																																																																																			

continua

Tabela L.1 – Continuação.

Método	Definição	Formulação	Características	Referências																																																																																																																								
<p>Rank-Order Centroid (ROC)</p> <p>"Centroid method"</p>	<p>Calculado através dos vértices de um simple.g., As coordenadas do centroide (pesos) são calculadas pela média das coordenadas correspondentes aos vértices, definidos pelo espaço de pesos viáveis gerado pelas desigualdades lineares formuladas (restrições do espaço viável de pesos).</p>	$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}, i = 1, \dots, n$ <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="9">Attributes</th> </tr> <tr> <th>Rank</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.7500</td> <td>0.6111</td> <td>0.5208</td> <td>0.4567</td> <td>0.4083</td> <td>0.3704</td> <td>0.3397</td> <td>0.3143</td> <td>0.2923</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.2500</td> <td>0.2778</td> <td>0.2708</td> <td>0.2567</td> <td>0.2417</td> <td>0.2276</td> <td>0.2147</td> <td>0.2032</td> <td>0.1923</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td>0.1111</td> <td>0.1458</td> <td>0.1567</td> <td>0.1583</td> <td>0.1561</td> <td>0.1522</td> <td>0.1477</td> <td>0.1433</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td>0.0625</td> <td>0.0900</td> <td>0.1028</td> <td>0.1083</td> <td>0.1106</td> <td>0.1106</td> <td>0.1093</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0400</td> <td>0.0611</td> <td>0.0728</td> <td>0.0793</td> <td>0.0828</td> <td>0.0833</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0278</td> <td>0.0442</td> <td>0.0543</td> <td>0.0606</td> <td>0.0633</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0204</td> <td>0.0334</td> <td>0.0421</td> <td>0.0467</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0156</td> <td>0.0262</td> <td>0.0333</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0123</td> <td>0.0200</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.0100</td> </tr> </tbody> </table>		Attributes									Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	0.7500	0.6111	0.5208	0.4567	0.4083	0.3704	0.3397	0.3143	0.2923	2	0.2500	0.2778	0.2708	0.2567	0.2417	0.2276	0.2147	0.2032	0.1923	3		0.1111	0.1458	0.1567	0.1583	0.1561	0.1522	0.1477	0.1433	4			0.0625	0.0900	0.1028	0.1083	0.1106	0.1106	0.1093	5				0.0400	0.0611	0.0728	0.0793	0.0828	0.0833	6					0.0278	0.0442	0.0543	0.0606	0.0633	7						0.0204	0.0334	0.0421	0.0467	8							0.0156	0.0262	0.0333	9								0.0123	0.0200	10									0.0100	<p>Geometricamente, os pesos ROC definem o centroide de um peso-espaço viável.</p> <p>Em uma perspectiva de distribuição, os pesos ROC são coincidentes com o valor esperado de um vetor aleatório, ou seja, a pdf (<i>probability density function</i>) para um vetor aleatório de pesos é exatamente o "espaçamento" uniforme obtido entre os pesos ROC.</p> <p>Os pesos ROC são chamados de pesos centroides (centro de gravidade) em esforço de identificar um único conjunto de pesos que é representativo de todas as possíveis combinações de pesos que são admissíveis e consistentes com as restrições das desigualdades lineares estabelecidas para os pesos.</p>	<p>Solymosi; Dombi (1986) Barron 1992 Barron, Barret 1996 Barron, Barret 1996(b) Roberts, Goodwin 2002 Ahn 2011 Pena et al 2020</p>
	Attributes																																																																																																																											
Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																			
1	0.7500	0.6111	0.5208	0.4567	0.4083	0.3704	0.3397	0.3143	0.2923																																																																																																																			
2	0.2500	0.2778	0.2708	0.2567	0.2417	0.2276	0.2147	0.2032	0.1923																																																																																																																			
3		0.1111	0.1458	0.1567	0.1583	0.1561	0.1522	0.1477	0.1433																																																																																																																			
4			0.0625	0.0900	0.1028	0.1083	0.1106	0.1106	0.1093																																																																																																																			
5				0.0400	0.0611	0.0728	0.0793	0.0828	0.0833																																																																																																																			
6					0.0278	0.0442	0.0543	0.0606	0.0633																																																																																																																			
7						0.0204	0.0334	0.0421	0.0467																																																																																																																			
8							0.0156	0.0262	0.0333																																																																																																																			
9								0.0123	0.0200																																																																																																																			
10									0.0100																																																																																																																			
Técnicas ou processos de decisão que utilizam variações ou combinações dos métodos de definição de pesos																																																																																																																												
<p>SMART - Simple Multi-Attribute Rating Technique</p> <p>"Ratio method"</p>	<p>Dentro da técnica SMART, as etapas equivalentes à definição de pesos são:</p> <p>Passo 5: classificar os atributos em ordem de importância (de forma intuitiva, sem utilização de qualquer processo)</p> <p>Passo 6: avaliar as dimensões de importância, preservando a razão. O atributo menos importante recebe 10 pontos enquanto os demais atributos são avaliados (na sequência de classificação) julgando a sua razão de importância em relação ao atributo de menor importância. Após a atribuição dos pontos, algumas verificações podem ser necessárias (e.g., para verificar a coerência e consistência entre pontuações).</p>	<p>N.A.</p>	<p>Esta técnica foi refutada pelo criador ("deveria ser esquecida"), pois a determinação de um peso deve refletir o range e importância dos atributos, entretanto, o SMART ignora o range (spread) dos atributos e isto afeta a avaliação do grau de importância definido.</p> <p>Alguns autores restringem o método com utilização de pontuação múltipla de 10 para os atributos.</p> <p>Uso da estratégia de aproximação heroica (<i>heroic approximation</i>): justifica a linearização da função utilidade/valor, evita erros de determinação e viabiliza o uso de modelo aditivos de agregação.</p>	<p>Edwards, 1977 Weber, Borcherding 1993 Pöyhönen, Hämäläinen 2001 Pena et al 2020</p>																																																																																																																								

continua

Tabela L.1 – Conclusão.

<p>SMARTS - SMART using Swing - (Swing + Tradeoff)</p>	<p>Dentro da técnica SMARTS, as etapas equivalentes à definição de pesos são:</p> <p>Passo 7: classificação dos atributos via swing ranking. O respondente é solicitado imaginar uma situação hipotética de uma alternativa cuja avaliação de todos os atributos é zero e, progressivamente, o respondente deve escolher somente um atributo para swing de zero para o melhor valor (0 para 100), assim formando a classificação dos atributos.</p> <p>Passo 8: definição dos pesos em si. Neste caso podem ser usadas duas variantes: (I) estimar diretamente o pesos, imaginando o atributo mais importante com nível máximo e solicitando ao respondente a atribuição do peso de um swing (e.g., 0 para 100) do segundo atributo mais importante e assim sucessivamente. Os julgamentos, normalizados, são os pesos finais dos atributos. (II) julgamentos de indiferenças utilizam a comparação entre duas alternativas e dois atributos, buscando o ponto de indiferença e assim criando relações de importância entre os pesos e desenvolvendo um sistema de equações.</p>	<p>Passo 8 (II) - julgamento de indiferenças</p> $u_{A1} = u_{A2}$ $Score_{w1} w_1 = Score_{w2} w_2$ $R(1/2) = \frac{w_1}{w_2} = \frac{Score_{w2}}{Score_{w1}}$ <p>....</p> $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ <p>Onde: u_{A1} é a utilidade da alternativa 1</p>	<p>Utiliza aproximações lineares para funções de utilidade de dimensão singular, modelo aditivo de agregação e pesos swing. Uso da estratégia de aproximação heroica (<i>heroic approximation</i>): justifica a linearização da função utilidade/valor, evita erros de determinação e viabiliza o uso de modelo aditivos de agregação.</p>	<p>Edwards and Barron, 1994 von Winterfeldt and Edwards, 1986 Pöyhönen, Hämäläinen 2001 Roberts, Goodwin 2002 Ahn 2011</p>
<p>SMARTER - SMART Exploiting Ranks (Swing 1/2 + ROC)</p>	<p>Dentro da técnica SMARTER, as etapas equivalentes à definição de pesos são:</p> <p>Passo 7: classificação dos atributos, exatamente igual ao SMARTS.</p> <p>Passo 8: definição dos pesos em si utilizando o Rank-Order Centroid (ROC).</p>	<p>Passo 8 (ROC)</p> $w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}, i = 1, \dots, n$	<p>Utiliza o mesmo procedimento do SMARTS com exceção de omitir a segunda etapa de determinação de pesos swing, substituindo por cálculos com base em classificações (<i>ranking</i>). Somente utiliza a ordenação de importância dos atributos para definição dos pesos. Uso da estratégia de aproximação heroica (<i>heroic approximation</i>): justifica a linearização da função utilidade/valor, evita erros de determinação e viabiliza o uso de modelo aditivos de agregação.</p>	<p>Edwards and Barron, 1994 Pöyhönen, Hämäläinen 2001</p>

Fonte: Produção do autor.

L.2.1 Método SMARTER

O método SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) proposto por Edwards (1977) e que dá origem ao método SMARTER (*Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks* (EDWARDS; BARRON, 1994)), surgiu devido à dificuldade e instabilidades do método de julgamento de indiferenças entre pares de opções hipotéticas, conhecido como método TRADEOFF, proposto por Keeney e Raiffa (1976) que é a obra reconhecida como fundadora dos princípios de MAUT.

O método SMART tem como objetivo explicitar os valores que indivíduos ou grupos percebem em tomadas de decisão (*public value = value assigned to an outcome*), na tentativa de uniformização e redução de diferenças entre essas visões através de um processo completo de avaliação de alternativas (*rating alternatives*) e atribuição de pesos de atributos (*weighting attributes*), constituindo de um processo de tomada de decisão completo. A avaliação das alternativas de decisão utiliza medidas de utilidade multiatributos (multicritérios) e um modelo de agregação aditivo, onde a determinação dos pesos dos atributos utiliza o método Min10 com preservação da razão de importância (EDWARDS, 1977).

O método SMARTER proposto por Edwards e Barron (1994), surgiu a partir de modificações realizadas no método SMART para superar dois principais problemas com este método. O primeiro (Problema 1) deles, com relação à reflexão do range e importância, simultaneamente, para a definição dos pesos, dado que o método SMART ignora o range dos atributos (e.g., range de preço de um carro R\$31k a R\$31,1k) afetando o grau de importância alocado. O segundo problema (Problema 2) está relacionado em confiar somente na noção intuitiva do usuário para o julgamento da importância na classificação de atributos, sem utilizar qualquer critério ou processo para a classificação de importância (BARRON; BARRETT, 1996a).

Visando superar esses problemas, o método SMARTER (EDWARDS; BARRON, 1994) utiliza um procedimento diferente de atribuição de pesos, usando apenas a classificação de importância (ranks) dos atributos, sem a necessidade de

atribuição de valores (utilidade) subjetivos. O procedimento consiste de duas etapas, onde a primeira depende do usuário do método e consiste em "varrer" o range dos atributos em um exercício mental denominado Swing rank e uma segunda etapa, que consiste do cálculo dos pesos (*surrogate weights*) utilizando um método matemático baseado em geometria chamado Rank-Order Centroid (ROC) desenvolvido por Solymosi e Dombi (1986).

A técnica SMATER identifica os julgamentos mais simples possíveis que possuem qualquer esperança de atender os requisitos subjacentes de medidas de utilidade multiatributos e leva a escolhas sub ótimas no problema em mãos, evitando erros de determinação. Edwards e Barron (1994) apresentam as crenças que motivam o método SMARTER, denominado de aproximação heroica (*heroic approximation*) como: ferramentas simples são mais fáceis de utilizar e mais prováveis de serem úteis e avaliações mais diretas de quantidades desejadas são mais fáceis e menos prováveis de produzirem erros de determinação, considerando que a seleção apropriada de métodos está preocupada com o trade-off entre erro de modelagem e erro de determinação.

As características da aproximação heroica de Edwards e Barron (1994) estão alinhadas com a proposta em desenvolvimento neste trabalho e justificam algumas premissas a serem adotadas em modelos que utilizam o SMARTER, conforme segue:

- aproximações lineares de funções de utilidade (ou valor) para dimensões singulares;
- uso de modelos aditivos de agregação;
- uso da classificação de importância dos critérios para determinação dos pesos;

O Swing rank visa determinar a classificação ordinal de importância dos atributos de julgamento de forma que o usuário percorra todo o range (do limite máximo ao limite mínimo) dos atributos através do seguinte procedimento: imaginar a avaliação de todos os atributos de uma alternativa hipotética (neste caso, um risco hipotético) iguais a zero e, através de rodadas sequenciais, questionar qual

dos atributos remanescentes deve ser elevado à máxima pontuação em cada rodada, ou seja, qual atributo gera maior valor à tomada de decisão. A ordem dos atributos definida, gera a classificação de importância (EDWARDS; BARRON, 1994).

A utilização do Swing rank supera ou, ao menos, colabora com a minimização dos problemas encontrados no método SMART. A característica de forçar o usuário a utilizar o range dos atributos no julgamento supera o Problema 1, fazendo com que o exercício mental de percorrer todo o range, do valor mínimo ao máximo, seja utilizado para a classificação dos atributos que, por fim, é utilizada para determinação dos pesos automaticamente (sem interferência do julgamento do usuário). Enquanto, simultaneamente, colabora para a minimização do Problema 2 como um procedimento ordenado e sistemático para a classificação de importância dos atributos, mesmo que não limite totalmente o uso da intuição no julgamento.

O método ROC tem como fundamento a teoria de centroides da geometria, onde o centroide de um simplex (forma geométrica definida através de n vértices) consiste do ponto natural de equilíbrio do conjunto de pesos dos atributos, caso não existam outras razões mais importantes de preferência. Através desse fundamento, os pesos dos atributos (coordenadas do centroide do simplex) são definidos através dos vértices (pontos extremos) do simple.g., Esse procedimento se dá por calcular a média das coordenadas correspondentes aos vértices.

Utilizando o problema de definição de pesos de atributos, o conjunto de restrições formado para a definição dos pesos forma um conjunto de desigualdades lineares, conforme apresentado na Equação L.1. Este conjunto forma um espaço de pesos viáveis (K), que é o simple.g.,

$$K = \left\{ w: w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n, \sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (L.1)$$

Onde:

$w: w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n$ o vetor de pesos w é composto de pesos classificados ordinalmente

$\sum_{i=1}^n w_i = 1$ o somatório de pesos é igual a um (normalização)

$w_i \geq 0$ os pesos têm valor não-negativo, maior ou igual a zero
 $i = 1, 2, \dots, n$ número de atributos, igual ao número de pesos

Os pontos extremos do simplex formado pelo espaço de pesos viáveis são definidos, genericamente, conforme a Equação L.2.

$$ext^i = \left(\frac{1}{i}, \frac{1}{i}, \dots, 0, \dots, 0 \right), i = 1, \dots, n \quad (L.2)$$

Onde:

ext^i i éximo ponto extremo do simplex com i elementos positivos e $n - i$ zeros

A partir das coordenadas dos vértices do simplex, os pesos dos atributos individuais são calculados através das médias dessas coordenadas, conforme apresentado na Equação L.3.

$$w_1^{ROC} = \frac{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}}{n}, w_2^{ROC} = \frac{0 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{n}}{n}, w_n^{ROC} = \frac{0 + 0 + 0 + \dots + \frac{1}{n}}{n} \quad (L.3)$$

Onde:

w_n^{ROC} peso associado ao n éximo atributo mais importante

O método ROC utiliza apenas a classificação ordinal de importância de atributos na determinação de pesos. Assim, a forma genérica para calcular os pesos dos atributos pelo método ROC é apresentado na Equação L.4.

$$w_i(ROC) = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{j}, i = 1, \dots, n \quad (L.4)$$

Onde:

$w_i(ROC)$ peso do i éximo atributo via método ROC

n número de atributos

j ordem na classificação ordinal de importância

Os pesos definidos através do método ROC podem ser parametrizados em função do número de atributos e classificação ordinal de importância, conforme apresentado na Tabela L.2.

Tabela L.2 - Pesos ROC em função do número e classificação ordinal de importância de atributos.

Rank	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.7500	0.6111	0.5208	0.4567	0.4083	0.3704	0.3397	0.3143	0.2929
2	0.2500	0.2778	0.2708	0.2567	0.2417	0.2276	0.2147	0.2032	0.1929
3		0.1111	0.1458	0.1567	0.1583	0.1561	0.1522	0.1477	0.1429
4			0.0625	0.0900	0.1028	0.1085	0.1106	0.1106	0.1096
5				0.0400	0.0611	0.0728	0.0793	0.0828	0.0846
6					0.0278	0.0442	0.0543	0.0606	0.0646
7						0.0204	0.0334	0.0421	0.0479
8							0.0156	0.0262	0.0336
9								0.0123	0.0211
10									0.0100

Fonte: Roberts e Goodwin (2002).

L.3 Modelos de agregação multicritérios

Os modelos de agregação multicritérios (multiatributos) mais comumente utilizados são aditivos, multiplicativos ou a combinações destes. A Tabela L.3 apresenta genericamente os dois modelos de acordo com a MAVT. A premissa principal para a utilização desses modelos é a independência de valor, onde a preferência por alocação de um atributo não deve ser afetada pela alocação avaliada nos demais atributos. Entretanto, a demonstração desse critério é complicada.

A condição de monotonicidade (*conditional monotonicity* (EDWARDS, 1977)) pode ser utilizada neste sentido, fazendo com que a eventual violação da premissa de independência de valor seja muito improvável de causar problemas. Essa condição prevê que o sentido de avaliação de um determinado atributo seja o mesmo para todas as alternativas, ou seja, o aumento do valor de um determinado atributo tem o mesmo sentido de relacionamento para todas as soluções (neste trabalho, todos os riscos). Por exemplo, quanto maior é o conhecimento do avaliador do risco, maior é a maturidade do risco avaliado por ele, independente do risco.

Tabela L.3 - Modelos genéricos MAVT de agregação aditivo e multiplicativo.

Modelo	Notação genérica
Aditivo	$v(X) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(x_i)$
Multiplicativo	$v(X) = \prod_{i=1}^n [v_i(x_i)]^{w_i}$
Com:	$\sum_{i=1}^n w_i = 1$
Onde:	
$v(X)$	Função de valor multiatributos da alternativa X
X	Vetor de atributos da alternativa X
w_i	Peso do atributo x_i
$v_i(x_i)$	Função de valor (score) singular do atributo x_i
n	Número de atributos

Fonte: Adaptada de Choo e Wedley (2008) e Site e Filippi (2009).

Choo e Wedley (2008) realizaram uma detalhada comparação entre os métodos de agregação aditivo e multiplicativo em tomadas de decisão multicritérios, resumidamente apresentado na Tabela L.4 e concluíram que o modelo de agregação aditivo é superior e mais fácil para os decisores entenderem, enquanto uma série de complicadores são identificados em modelos multiplicativos como:

- Os pesos dos critérios têm significados complicados, não são bem entendidos e frequentemente misturados na notação ambígua de “importância dos critérios”.
- Os fatores de escala de valores de preferência local (avaliação dos critérios para cada alternativa) não aparecem explicitamente na computação de razões relativas das preferências gerais.
- As razões relativas de preferências permanecem inalteradas quando fatores de escala são modificados ou uma alternativa é adicionada ou excluída.
- As razões relativas de preferência não dependem de valores de preferência local que se cancelam entre si matematicamente.

- O modelo multiplicativo de agregação (diferentemente do aditivo) considera a multiplicação de valores numéricos em escala de razão ou rácio (ratio scale), que produz uma nova escala de razão com diferente unidade de medida.

Tabela L.4 - Comparação das características principais dos modelos aditivo e multiplicativo.

Modelo aditivo	Modelo multiplicativo
As preferências gerais (das alternativas) são estimadas por médias aritméticas ponderadas.	As preferências gerais (das alternativas) são estimadas por médias geométricas ponderadas.
Os valores parciais são explícitos na agregação.	Os valores parciais não são explícitos na agregação.
Os pesos dos critérios são interpretados como fatores de conversão.	Não há uma simples interpretação para os pesos dos critérios (expoente).
A adição ou exclusão de alternativas modifica a proporcionalidade dos pesos dos critérios.	Os pesos dos critérios se mantêm sem modificações quando alguma alternativa é adicionada ou excluída.

Fonte: Choo e Wedley (2008).

A questão de escalas a serem agregadas nos modelos é bastante importante e normalmente não explicitamente especificado. Segundo Choo e Wedley (2008), o relacionamento dos fatores de escala das preferências locais (avaliações individuais dos atributos para cada alternativa) com os pesos dos critérios causa ambiguidade e confusão, por exemplo, quanto existem diferentes unidades de medida ou escalas entre os critérios. Uma técnica comum para determinar uniformidade é impor uma restrição de normalização artificial que normalmente resolve o problema de combinação de diferentes escalas.

Segundo Site e Filippi (2009), as escalas das funções de valor ou utilidade são projetadas com referência à pontos de ancoragem bem definidos, sendo possível que as avaliações (scores) das alternativas nos atributos e nos pesos dos atributos sejam normalizados gerando um ponto de referência único.

APÊNDICE M - CONTEXTO E INTEGRAÇÃO DO MÉTODO iRML PARA O CPRIME

M.1 Processo de desenvolvimento de estudos no CPRIME

O processo utilizado no CPRIME está dividido em três fases: fase de preparação, fase de estudo no ambiente integrado de projeto e fase de elaboração do relatório final do estudo (INPE/DSE, 2016).

A fase de preparação tem como objetivos o entendimento dos objetivos do estudo, a definição do escopo do estudo, a definição preliminar dos requisitos operacionais, funcionais, programáticos e restrições para a missão e a definição preliminar do conceito de operações. A fase de estudo no ambiente integrado de projeto tem como objetivos a concepção de uma ou mais soluções de sistema para atendimento aos requisitos e restrições da missão e a avaliação comparativa de soluções para o sistema, do ponto de vista de entendimento a seus requisitos e restrições, custo, risco e tempo de desenvolvimento. A fase de elaboração do relatório final do estudo consiste na preparação de um relatório com descrição dos resultados do estudo, premissas assumidas e processo de concepção das soluções construídas (INPE/DSE, 2016).

Os stakeholders demandantes do estudo participam da realização do estudo com atuação principal na fase de preparação e são convidados a acompanhar a fase de estudo no ambiente de projeto, facilitando a comunicação e agilidade na busca de informações.

A estratégia geral de construção de soluções candidatas para o sistema espacial tem como referência o processo de avaliação de missões espaciais (*SME process*) apresentada em Wertz e Larson (2011) que é estruturada em 4 estágios e 13 passos que são utilizados para a condução do processo de construção de soluções candidatas. Essa estratégia representa o processo utilizado na fase de estudo no ambiente integrado de projeto.

A parte inicial da estratégia é realizada com os resultados da fase de preparação e pode contar com a atuação ativa dos demandantes de um estudo, resultando nos objetivos da missão e restrições programáticas. A partir dessas definições

básicas, um conjunto de requisitos e restrições são derivados para o sistema a ser concebido ou analisado. Nesta etapa, um *looping* iterativo é utilizado para verificar a aderência dos requisitos (do sistema) derivados com os objetivos e restrições da missão e buscar respostas de aspectos indefinidos anteriormente a assumir premissas. Paralelamente, o conceito de operações de alto nível do sistema é formado e provê uma realimentação dos requisitos do sistema.

A partir do congelamento de um conjunto de requisitos do sistema e do conceito de operação, é iniciado o processo de construção de soluções candidatas para o sistema. Esta atividade utiliza como guia a construção de uma árvore de soluções candidatas que é construída através dos drivers do sistema e requisitos críticos. Uma estratégia de desenvolvimento é proposta através da árvore de soluções candidatas e diferentes conjuntos de soluções do sistema são exploradas com a atuação das disciplinas específicas envolvidas no projeto.

Como produto da estratégia, as soluções candidatas para o sistema são apresentadas em conjunto com os requisitos e restrições, drivers de projeto, modos de operação, balanços (*budgets*) e a consolidação do sistema (conjunto de informações programáticas e técnicas).

A fase de construção de soluções candidatas para o sistema envolve a participação das diversas especialidades necessárias para a realização do projeto. Cada disciplina possui seus modelos e ferramentas de projeto e conta com uma estratégia de troca de informações com as demais disciplinas. O fluxo de troca de informações previsto é organizado e iterativa, entretanto, em alguns momentos durante a realização de reuniões de projeto essa iteração pode ser caracterizada como semicaótica, envolvendo discussões simultâneas entre diversas disciplinas.

A disciplina risco é parte integrante do processo e tem como objetivo principal a consolidação dos riscos identificados ao longo da fase de projeto em um *framework* que atenda à política do centro (CPRIME) e as expectativas dos stakeholders demandantes de um estudo. Neste modelo, a disciplina risco utiliza uma forma padrão de identificar, avaliar e comunicar os riscos e serve como um

suporte para as disciplinas *systems* e *programmatics* que realizam o gerenciamento dos riscos ao longo do processo de projeto.

M.2 Disciplina Risco no CPRIME

A disciplina Risco, como parte integrante do CPRIME, tem enfrentado diversos desafios quanto o estabelecimento de uma metodologia efetiva de identificação, avaliação e comunicação de riscos para as soluções de missão identificadas nos estudos. Neste contexto surgiu a necessidade de realização de um trabalho de pesquisa que configura a motivação principal de aplicabilidade para este trabalho.

O trabalho apresentado no evento WETE 2018 (COSTA; DE SOUSA, 2018) apresenta as técnicas e os resultados obtidos desde a implementação da disciplina Risco no CPRIME além das lições aprendidas derivadas de cada aplicação em estudos realizados no centro. Dado a importância desse histórico para o presente trabalho, essa Seção apresenta os resultados de (COSTA; DE SOUSA, 2018) e a discussão das análises realizadas.

A estratégia inicial adotada para a identificação e avaliação de riscos na disciplina Risco do CPRIME contou com a utilização de ferramentas e conceitos adaptados da área de Confiabilidade. Partindo da integração de FMEA, diagrama de blocos de confiabilidade e dos métodos adotados nas principais referências da área (NASA e ESA), as primeiras iniciativas foram propostas. Posteriormente, a abordagem foi modificada utilizando como referência a Política de Gestão de Riscos da ETE e também os relatórios finais de estudos conceituais de missões, gerados em centros de engenharia simultânea como o Team-X (*Innovation Foundry/JPL*) e o CDF (ESTEC/ESA).

As diferentes propostas foram colocadas em prática em estudos realizados no CPRIME e a avaliação dos resultados obtidos foi utilizada para efetuar melhorias na abordagem e ferramentas subsequentes, além de subsidiar o desenvolvimento do atual trabalho. A Tabela M.1 apresenta um enquadramento das abordagens utilizadas na disciplina risco em estudos do CPRIME conforme (COSTA; DE SOUSA, 2018).

Tabela M.1 – Sumário das abordagens adotadas pela disciplina Risco do CPRIME.

Abordagem 1

A primeira abordagem proposta consiste em três fases que integram a identificação de riscos técnicos utilizando a matriz de risco (5x5), análise de modos de falha e seus efeitos (FMEA) e diagrama de blocos de confiabilidade. A abordagem adota a classificação dos riscos de acordo com os quatro níveis hierárquicos da arquitetura de missão e o processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco e consolidação final somente com a disciplina Systems. A aplicação desta abordagem demonstrou-se inviável pelo volume, detalhamento e tempo necessário para a realização de todas as análises previstas.

Abordagem 2

A segunda abordagem proposta prevê a identificação, avaliação e comunicação dos riscos técnicos (matriz de risco 3x3 com critérios qualitativos adaptáveis). A classificação dos riscos adotada na abordagem considera apenas dois níveis hierárquicos (missão e elementos da arquitetura da missão) e o processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco, envio das informações para as disciplinas específicas para avaliação dos riscos e consolidação final. A aplicação da abordagem foi parcial, sem a avaliação dos riscos na forma de probabilidade de ocorrência e impacto, e a apresentação na forma de matriz 3x3. A abordagem não permitiu uma consolidação final coletiva dos resultados.

Abordagem 3

A terceira abordagem proposta utiliza a política de riscos da ETE (ETE/GPO-DG-001) com uma matriz (5x5) e níveis de probabilidade e impacto de acordo com a política estabelecida. Esta abordagem prevê a identificação de riscos técnicos e programáticos utilizando a mesma análise qualitativa. A classificação dos riscos adota dois níveis distintos (missão e subsistemas/equipamentos) e o processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco e avaliação e consolidação final com todo time de estudo. A inclusão da identificação de riscos programáticos mostrou-se viável com a consolidação final em conjunto com a disciplina *programmatics*. Entretanto, quanto aos riscos técnicos, a avaliação conjunta com todo o time de projeto mostrou-se inviável pelo tempo consumido nesta atividade.

Abordagem 4

A quarta abordagem proposta utiliza a política de riscos da ETE (ETE/GPO-DG-001) com uma matriz (5x5) e níveis de probabilidade e impacto adaptáveis. A identificação de riscos técnicos e programáticos é prevista ser realizada em conjunto. A classificação dos riscos adotada na abordagem utiliza dois níveis hierárquicos (missão e subsistemas/equipamentos). O processo consiste na apresentação da metodologia proposta ao cliente do estudo, adaptação dos critérios de impacto com validação do cliente, coleta de informações pela disciplina Risco durante as sessões de projeto e consolidação final dos riscos com um grupo reduzido, com participação das disciplinas: *systems*, *programmatics*, risco e cliente do estudo. A aplicação da abordagem deixou evidente a necessidade de adaptação do processo, ferramentas e política a serem seguidos anteriormente ao início do estudo e a dificuldade de coleta de informações centralizada na disciplina Risco quanto aos riscos especializados de disciplinas técnicas. Também ficou evidente a necessidade de apresentar o nível de conhecimento que suporta a avaliação dos riscos.

Fonte: Produção do autor.

As abordagens apresentadas foram enquadradas em classificações para facilidade de comunicação, pois refletem os aspectos principais adotados em diferentes estudos de missões realizadas pelo CPRIME. As diferentes abordagens refletem os diferentes objetivos dos estudos, natureza das missões

analisadas e as modificações propostas pela disciplina risco utilizando a experiência acumulada pela equipe.

Inicialmente foi proposta uma abordagem muito extensa (abordagem 1) e foi verificado sua inviabilidade de utilização pelo longo tempo de execução e alta complexidade, assim, as demais abordagens apresentaram grande redução de escopo, porém preservando o objetivo principal de capturar os riscos e comunicar ao cliente do estudo.

A avaliação qualitativa das componentes: probabilidade de ocorrência e impacto, inicialmente realizada somente pela disciplina Risco (abordagens 1 e 2), gradualmente incorporou novos atores, porém esta prática tornou o processo lento devido as discussões e debates, que nem sempre chegaram a um consenso. Mesmo assim, notou-se um ganho de confiança ao reunir diferentes atores e seus distintos pontos de vista para a avaliação dos riscos, mesmo que não fosse possível avaliar completamente todos os riscos identificados.

A definição da política de riscos da ETE foi um marco importante para a disciplina Risco (abordagem 3). Juntamente com a estruturação de uma ferramenta padrão e critérios ajustados para a realidade do INPE e projetos no âmbito da ETE. Inicialmente foi utilizada em seu formato originalmente proposto e ao longo de sua utilização, novas modificações e flexibilizações foram incorporadas. A presença e participação ativa do cliente do estudo junto à disciplina Risco (abordagem 4) mostrou ser importante nas definições iniciais qualitativas a serem adotadas na avaliação dos riscos.

M.2.1 Processo corrente da disciplina risco do CPRIME

As lições aprendidas e experiências providas das abordagens propostas em conjunto com a pesquisa realizada no presente trabalho, resultaram na proposta do conceito iRM e sua medida iRML através de um método a ser incorporado na análise riscos da fase conceitual do desenvolvimento de sistemas espaciais. Mesmo que o método proposto não resolva todos os problemas identificados durante a aplicação das abordagens utilizadas no CPRIME, a sua aplicação visa informar aos stakeholders a maturidade (solidez) das informações de risco. Ou

seja, o resultado da análise de riscos provê elementos para suportar tomadas de decisão.

O processo corrente de atuação da disciplina Risco no CPRIME é adaptável ao estudo a ser desenvolvido e permite a configuração dos aspectos da política de risco ou a utilização da política de risco. A etapa de adaptação da política de risco está inserida na estratégia geral do CPRIME no início da fase de estudos no ambiente integrado de projeto, ao longo da definição dos objetivos e restrições da missão e derivação de requisitos e restrições do sistema. A adaptação da política de risco consiste na definição dos seguintes elementos, de forma paralela, conforme representado na Figura M.1(a):

Crítérios de sucesso: os critérios de sucesso podem ser usados como referências para a identificação de riscos e são classificados de acordo com as diferentes naturezas a que se referem como, por exemplo: científico, tecnológico operacional, técnico, cronograma e custo;

Política de aceitação de risco: define as ações ou nível de controle dos riscos avaliados de acordo com o seu nível de classificação como, por exemplo, as ações necessárias quando um risco é avaliado como nível alto e qual região da matriz de riscos é considerada de nível alto;

Categorização de probabilidade e impacto: a categorização em níveis e descrições dos níveis de probabilidade de ocorrência e impacto são utilizados para avaliar os riscos e podem assumir diferentes formas como, por exemplo, cinco níveis de probabilidade de ocorrência classificados através de advérbios de tempo subjetivos (muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto) e descrição de cada nível através de medidas de frequência relativa (1 em cada 100 casos) ou probabilidade subjetiva (> 80%). Enquanto o impacto pode ser avaliado para diferentes naturezas como, por exemplo: prazos, custos e desempenho;

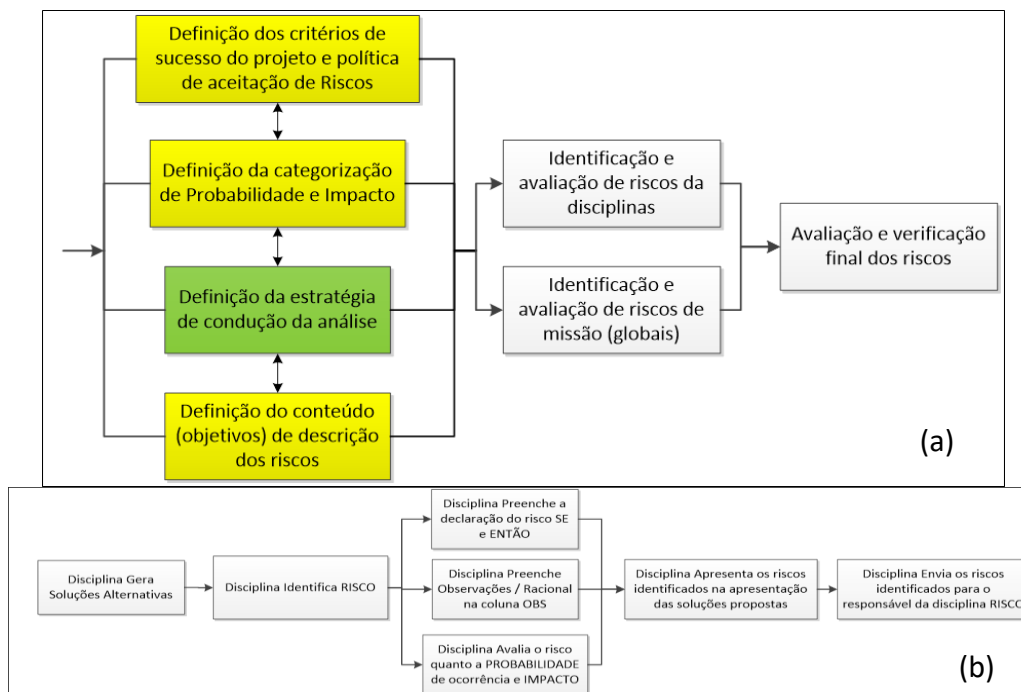
Conteúdo de descrição dos riscos: a avaliação qualitativa dos riscos típica utiliza uma planilha com os seguintes itens de descrição ou caracterização dos riscos: identificador, classificação, contexto/condições, declaração do risco/evento (se), consequência (então), probabilidade, impacto, magnitude do risco (probabilidade x impacto), observações. O conjunto de itens pode ser modificado de acordo com

as necessidades do estudo específico e conceitos adotados pelos demandantes do estudo;

Estratégia de condução da análise de risco: a estratégia de condução da análise de riscos ao longo de um estudo deve ser definida de acordo com as necessidades do estudo específico. Um processo típico é proposto como default, conforme apresentado na Figura M.1(b), e segue a descrição abaixo:

Todas as disciplinas receberão o *template* padrão para preenchimento dos riscos identificados das opções de solução propostas (a apresentação dos riscos identificados será realizada no momento de apresentar as opções de solução). Paralelamente, a disciplina Risco também identificará os riscos macro (globais) e posteriormente (antes da finalização do estudo) a disciplina Risco irá consolidar todos os riscos e realizar uma verificação global com posterior apresentação ao grupo de estudo do CPRIME.

Figura M.1 – Processo de adaptação da política de riscos (a) e processo de execução da análise de riscos (b) da disciplina Risco do CPRIME.



Fonte: Produção do autor.

M.3 Integração do método de avaliação da maturidade de risco (iRM e iRML) ao processo CPRIME e aos processos da disciplina Risco

A adaptação dos processos correntes do CPRIME e da disciplina Risco para viabilizar a utilização do iRM e sua medida iRML, é apresentada nesta Seção. Para viabilizar a construção de um processo adequado, uma análise geral de utilização do conceito iRM medida iRML é realizada e apresentada na Seção M.3.1. A seguir, a integração do processo CPRIME ao processo iRM é apresentada na Seção M.3.2.

M.3.1 Análise de utilização do conceito iRM e da medida iRML no contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea

A análise de utilização do iRM e iRML no contexto de desenvolvimento de um estudo conceitual, em ambiente de engenharia simultânea, é realizada para entender e definir como esses elementos estão relacionados na formação de um processo de utilização do iRML neste ambiente.

O resultado dos relacionamentos identificados entre os elementos do iRM e os elementos do contexto investigado é ilustrado na Figura M.2. A representação dos elementos do contexto tem diferentes níveis hierárquicos e simplificações como, por exemplo, relação hierárquica singular (i.e. todos os avaliadores de risco pertencem ao mesmo contexto organizacional), decomposição limitada apenas dos elementos de interesse (i.e. apenas o time do projeto e as ferramentas e processos da organização de engenharia simultânea estão visíveis) e supressão de elementos do contexto não relacionados à avaliação do iRML (i.e. usuários das informações geradas na análise do risco).

As setas indicam que a formação ou julgamento dos elementos do iRML dependem de informações ou características dos elementos de contexto e representam somente os relacionamentos fortes. Nota-se uma grande densidade de relacionamentos entre os elementos do iRM e do contexto, mostrando que o conceito está intensamente relacionado com o contexto do ambiente de engenharia simultânea.

A visualização detalhada dos relacionamentos do menor nível de granularidade do iRML, apresentada na Figura M.3, utiliza uma notação com símbolos (positivo

e zeros) para representar a força de cada relacionamento, observando o aspecto de relevância do elemento do contexto para a definição (formação ou julgamento) de cada atributo.

O RKM possui, prioritariamente, relacionamentos mais fortes com: (c5) o avaliador do risco, (c6) ferramentas e processos, (c1) área de conhecimento específica e o (c8) risco individual sob análise. Por outro lado, apresentam, relativamente, menor intensidade de relacionamentos com os elementos: (c2) organização de projeto e (c3) organização de engenharia simultânea. Essa avaliação não é absoluta, pois é muito dependente do conteúdo do risco, da maturidade da gestão de conhecimento da organização e do histórico da organização no desenvolvimento de um determinado tipo de projeto.

O elemento TM&MCM possui um relacionamento preferencialmente mais forte com: (c2 e c3) os elementos organizacionais (que são usados como fonte de informações), (c5) o avaliador do risco (provê o conhecimento para avaliar os parâmetros, exceto o CML) e (c8) o risco em si (indica quais tecnologias estão relacionadas ao risco). Observa-se que o CML somente tem um relacionamento forte com o (c7) conceito de missão, que é o objeto de avaliação do CML.

A maturidade da organização (ROM), naturalmente tem dependência da (c2) organização de projeto e (c3) organização de engenharia simultânea e (c6) ferramentas, processos que evidenciam as áreas de capacidades de gerenciamento de risco observadas no modelo de maturidade CoPS-RM-CMM. Portanto, é o único elemento independente do risco em si.

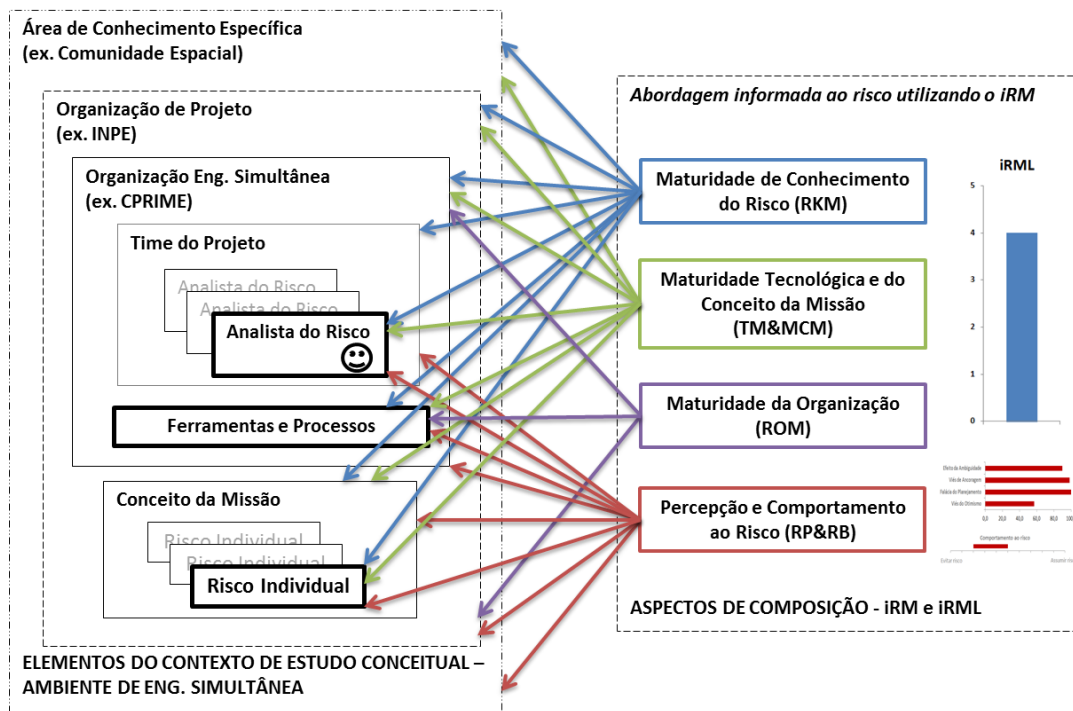
A percepção de risco (RP&RB) tem níveis de relacionamentos heterogêneos que dependem da natureza de cada viés. Enquanto o comportamento ao risco possui característica específica de relacionamento forte com todos os elementos do contexto, exceto (c6) ferramentas e processos, pois o comportamento ao risco é influenciado pela atitude ao risco e percepção de risco (i.e. é formado pela influência dos diversos elementos de contexto).

A segunda análise de contexto realizada tem como objetivo definir o processo detalhado de utilização do método proposto em um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea. Para isso, os atores e suas ações (i.e.

papéis e responsabilidade) diante da formação dos atributos do iRML são identificados na Figura M.4.

A análise das ações dos atores resulta na indicação dos papéis a serem desempenhados no processo detalhado. A maioria dos atributos possui somente um avaliador, entretanto, o CML e o ROML (CoPS-RM-CMM) possuem mais de um ator responsável pela avaliação devido a necessidade de combinação de diferentes pontos de vista para o julgamento. Nestes casos, o processo deve prover meios para essa ação conjunta.

Figura M.2 – Relacionamento entre os elementos de contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea e os aspectos de composição do iRM.



Fonte: Produção do autor.

Figura M.3 – Análise detalhada dos relacionamentos entre os atributos do iRML e os elementos de contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea.

			(c1) Área de Conhecimento Específica	(c2) Organização de Projeto	(c3) Organização Eng. Simultânea	(c4) Time de Projeto	(c5) Analista do Risco	(c6) Ferramentas e Processos	(c7) Conceito da Missão	(c8) Risco Individual	
1. Maturidade de Conhecimento do Risco	1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações	1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	+	0	0	0	++	+	+++	+++	
		1.1.2 Fundamentos	++	++	+	0	++	+++	+	+	
		1.1.3 Disponibilidade e facilidade de acesso	+++	++	+	0	+++	+++	0	++	
		1.1.4 Quantidade	+++	++	0	0	++	+++	0	+++	
		1.1.5 Precisão (dispersão)	++	+	0	0	+++	++	0	+++	
		1.1.6 Pragmatismo	+++	++	0	0	+++	++	+	+++	
		1.1.7 Ferramentas e Processos	++	++	+++	+++	+++	+++	+	++	
	1.2. Maturidade do Julgamento	1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	0	+	++	+++	+++	++	0	+++	
		1.2.2 Nível de confiança do julgamento	0	0	0	0	+++	0	0	++	
	1.3. Maturidade de premissas		+++	+++	+++	0	+++	++	+	+++	
1.4. Maturidade do Conhecimento e Entendimento do Assunto do Risco	1.4.1 Conhecimento do assunto envolvido no risco	+	++	++	+	+++	0	++	+++		
	1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	+++	+++	+++	+	+++	++	++	+++		
2. Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão	TRL		+++	++	+++	0	+++	+++	++	+++	
	R&D ³		+++	+++	+++	0	+++	++	+	+++	
	CML		0	+	++	++	+	0	+++	+	
3. Maturidade da Organização ao Risco		CoPS-RM-CMM		++	+++	+++	++	+	+++	++	0
4. Percepção e Comportamento ao Risco	Percepção de Risco	Viés do Otimismo	++	+++	+	+++	+++	+++	+	+++	
		Viés da Falácia do Planejamento	+++	+++	+++	++	+++	++	+++	++	
		Viés de Ancoragem	0	0	0	+	+++	+++	++	+++	
	Efeito da Ambiguidade		0	0	0	++	+++	+++	+	++	
Comportamento ao Risco				+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
+		Relacionamento fraco									
++		Relacionamento intermediário									
+++		Relacionamento forte									
0		Relacionamento não identificado									

Fonte: Produção do autor.

Figura M.4 – Análise detalhada das ações dos atores do contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea e os atributos do iRML.

			Disciplina Risco	Análise do Risco	Detalhes Específicas	Disciplina Programática	Disciplina Systems	Liber to estudo	Stakeholders do estudo
1. Maturidade de Conhecimento do Risco	1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações	1.1.1 Relevância (aplicabilidade)	(D)	(A) e (B)	(H)	(H)	(E) e (G)	(H) e (J)	
		1.1.2 Fundamentos			(I)				
		1.1.3 Disponibilidade e facilidade de acesso							
		1.1.4 Quantidade							
		1.1.5 Precisão (dispersão)							
		1.1.6 Pragmatismo			(H)				
		1.1.7 Ferramentas e Processos							
	1.2. Maturidade do Julgamento	1.2.1 Nível de suporte dos envolvidos	(D)	(B)	(I)	(H) ou (J)			(H)
		1.2.2 Nível de confiança do julgamento				(H)			
	1.3. Maturidade de premissas		(D)	(A) e (B)		(H)		(H) e/ou (G)	(H) ou (J)
1.4. Maturidade do Conhecimento e Entendimento do Assunto	1.4.1 Conhecimento do assunto envolvido no risco	(D)	(B)		(H)				
	1.4.2 Nível de exploração do assunto relacionado ao risco	(D) e (G)	(A) e (B)	(H)	(H) e/ou (G)	(F)	(H) ou (J)		
2. Maturidade Tecnológica e do Conceito da Missão		TRL	(C) e (D)	(A) e (B)	(H)	(C)	(C)	(H)	
		R&D ³							
		CML	(B) e (D)	(H)		(B)			
3. Maturidade da Organização ao Risco		CoPS-RM-CMM	(B) e (D)	(H)		(B)	(C)	(H)	
4. Percepção e Comportamento ao Risco	Percepção de Risco (possibilidade de existência do viés)	Viés do Otimismo	(D)	(B)	(H)				
		Viés da Falácia do Planejamento							
		Viés de Ancoragem							
	Efeito da Ambiguidade								
Comportamento ao Risco									
<p>(A) Gerencia o atributo: possui influência de modificação das características do atributo (ex. escolha da base de pesquisa para referência);</p> <p>(B) Avalia (julga) o atributo: realiza o julgamento do atributo de acordo com o modelo estabelecido (ex. avaliação do TRL da tecnologia relacionada ao risco);</p> <p>(C) Verifica o julgamento do atributo: analisa o julgamento realizado do atributo como forma de verificação (ex. verifica se o TRL atribuído à determinada tecnologia é adequado);</p> <p>(D) Utiliza a avaliação do atributo: usa o resultado da avaliação de um atributo (ex. usar o julgamento dos elementos do RKML para a composição do índice de possibilidade de existência dos vieses);</p> <p>(E) Analisa o atributo: analisa a adequação das características do atributo para o objetivo do estudo (ex. análise de suficiência da quantidade de dados utilizados para julgamento do risco);</p> <p>(F) Define diretrizes: tem autoridade para definir alterações no trabalho para garantir o cumprimento dos objetivos do estudo (ex. disparar a ação de procurar mais dados para a análise do risco);</p> <p>(G) Suporta diretrizes: dá apoio quanto alterações no trabalho para garantir o cumprimento dos objetivos do estudo (ex. permitir e facilitar a busca de mais dados para o julgamento do risco);</p> <p>(H) Observa: Não tem ação sobre o atributo ou seu julgamento;</p> <p>(I) Apoia: Apoia o julgamento ou modificação de um atributo (ex. nível de suporte na avaliação de probabilidade e consequência do risco);</p> <p>(J) Aprova: tem autoridade de aprovação de alguma característica do atributo (ex. uma premissa assumida).</p>									

Fonte: Produção do autor.

A possibilidade de existência dos vieses é apontada como julgamento pelo avaliador do risco, mas consiste em uma forma indireta, através da avaliação dos atributos do RKML.

A utilização da percepção e comportamento ao risco somente de um indivíduo (avaliador do risco) no modelo do iRML é uma premissa assumida. Portanto, assume-se que a primeira avaliação ou registro de um determinado risco seja realizada por um único indivíduo, mesmo que outros integrantes do time tenham colaborado. Assim como os elementos de percepção e comportamento ao risco, os elementos componentes do RKM são propostos de avaliação pelo próprio avaliador do risco.

Essa questão é investigada em Buratti e Allwood (2019) para diferentes configurações experimentais de avaliação do conhecimento subjetivo que sustenta uma análise de risco (*regular knowledge* – i.e. o que é conhecido sobre o risco) e de ignorância (*ignorance assessments* – i.e. o que é desconhecido sobre o risco). Os resultados desses autores apontam que a abordagem de avaliação da ignorância indicou uma avaliação de conhecimento subjetivo maior e, como consequência, uma avaliação de risco em níveis mais baixos. Esta conclusão é suportada pelo argumento de (TALEB, 2007) em que as pessoas tendem a procurar por áreas de conhecimento insuficientes de forma restrita, considerando buscas de potenciais ignorâncias muito próximas do conteúdo de domínio que já está sendo avaliado.

Outra conclusão de Buratti e Allwood (2019), utilizando a abordagem de avaliação de conhecimento em uma estratégia de alternância da ordem de avaliação do conhecimento e da avaliação do risco, não apresentaram efeitos significativos. Portanto, a autoavaliação do conhecimento (avaliação dos elementos RKML – i.e. o quanto se sabe sobre o risco) pelo avaliador do risco é entendido como a melhor abordagem para o iRML.

M.3.2 Integração do Processo CPRIME ao Processo de utilização do iRM e iRML

O processo de utilização do iRM deve ser adaptado de forma a coexistir nas três fases de desenvolvimento de um estudo do processo CPRIME, conforme

representação da Figura M.5. O enquadramento mostra que há uma convergência natural entre os modelos e objetivos de cada fase e etapas.

Figura M.5 – Enquadramento do processo de utilização do iRM com as fases típicas de desenvolvimento de um estudo no CPRIME.



Fonte: Produção do autor.

A etapa (I) do processo de utilização do iRM deve ser integrada à fase de preparação de um estudo conceitual, quando o processo geral de realização do estudo é apresentado aos stakeholders e as definições iniciais do propósito, escopo e entregas são estabelecidos. Neste momento as necessidades e expectativas dos stakeholders dos diversos aspectos do estudo são identificadas, inclusive com relação à análise de riscos (ver Seção H.1.1), e há o esforço de tradução desses aspectos para a formação da política de risco a ser adotada no estudo. A finalização da fase de preparação se dá com um “acordo” entre o solicitante e o executor líder do estudo com as definições básicas para a realização do estudo. A etapa II (ver Seção H.1.2) visa o treinamento e avaliação do iRML para os riscos identificados, portanto, atividade que é realizada durante a fase de estudo em ambiente de projeto integrado à política de risco estabelecida para cada estudo. Por fim, a etapa (III) (ver Seção H.1.3) consiste

na verificação de eventuais lacunas de avaliação, integração (consolidação) e apresentação dos resultados que é realizado na fase de elaboração do relatório final do estudo.

Com relação ao processo corrente da disciplina risco, algumas alterações se fazem necessárias para inclusão do processo de utilização do iRM, inclusive com o deslocamento de atividades para a fase de preparação de um estudo, que não está previsto no processo atual.

A adaptação dos processos da disciplina Risco é representada na Figura M.6, de acordo com as três etapas do modelo em vê e integração às fases de desenvolvimento de um estudo conceitual do CPRIME. Portanto, apresenta uma visão global da atuação da disciplina Risco e suas interfaces ao longo de um estudo conceitual com a utilização do método iRM.

A etapa (I) do processo de utilização do iRM, que consiste na adequação de conceitos, das formas de expressão/comunicação e do ferramental (lado esquerdo do modelo em vê), deve ser integrada à etapa de adaptação da política de riscos do processo corrente da disciplina Risco, conforme proposto na Figura M.6(a). Assim, a adaptação dos elementos pertencentes à política de risco deve ser alterada da seguinte forma:

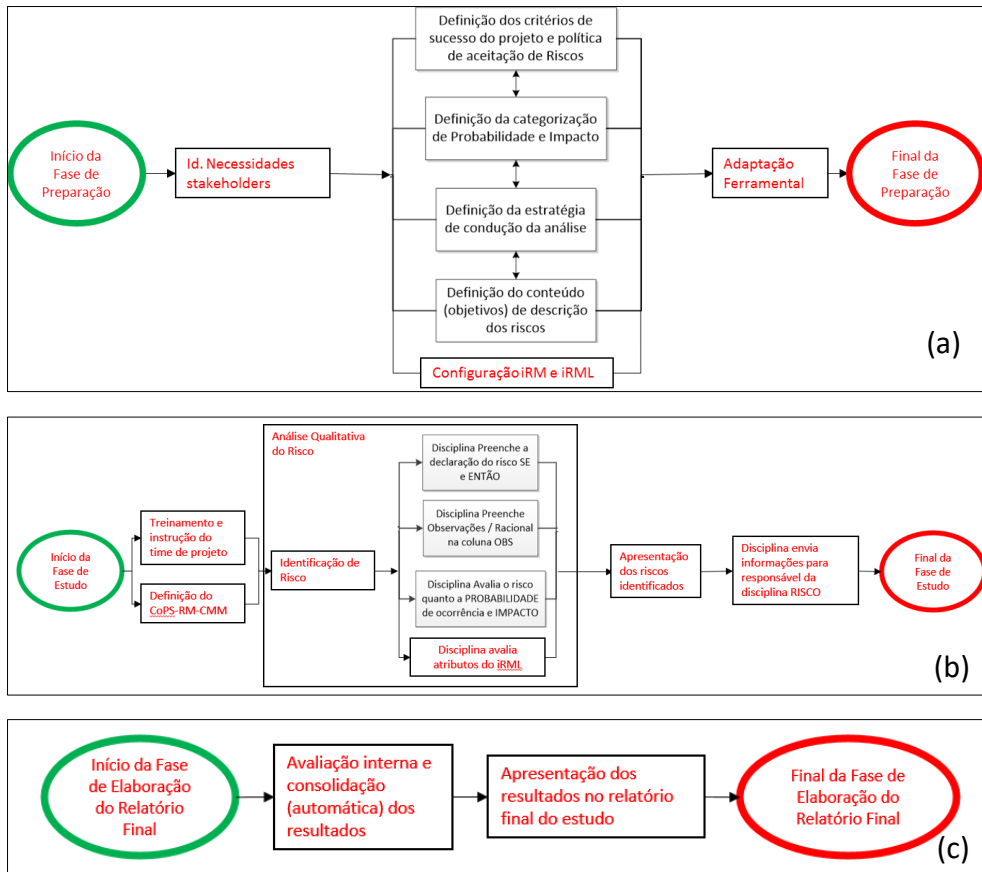
- Critérios de sucesso: elemento permanece opcional, sem necessidade de alteração.
- Política de aceitação de risco: elemento permanece opcional, entretanto, a política de riscos pode incluir o nível do iRML (índice numérico) como um critério adicional de controle para as ações adotadas.
- Categorização de probabilidade e impacto: elemento permanece obrigatório e sem modificações para a conceituação de risco como a combinação de probabilidade de ocorrência e impacto.
- Conteúdo de descrição dos riscos: elemento permanece obrigatório com a necessidade de inclusão do iRML. Este deve incluir o número de itens necessários, dependente da forma adotada do iRML como, por exemplo, no iRML híbrido utilizando a representação gráfica, devem ser definidos:

o índice principal iRML, índices de possibilidade de existência dos vieses e o comportamento ao risco do avaliador.

- Estratégia de condução da análise de risco (define o *core* da etapa (II), parte central do modelo em Vê): elemento permanece obrigatório, com a inclusão da avaliação do iRML de acordo com a forma de iRML adotada. Se o iRML híbrido for adotado, a avaliação do CoPS-RM-CMM (RMOL) deve ser realizada no início da fase de estudo, conduzido pelo responsável da disciplina Risco. O julgamento dos atributos do RKML, do comportamento ao risco do avaliador (parte do RP&RB), do TRL e R&D³ da tecnologia associada ao risco (para composição do TM&MCML) são avaliados pelo avaliador do risco quando um risco é identificado e analisado. Enquanto o CML do instante de análise do risco é comunicado pelo líder do estudo de acordo com a evolução do processo. O processo típico proposto como *default* não necessita modificações, uma vez que está apresentado de forma genérica e há convergência com as atividades necessárias para introdução do iRML no processo.

A etapa (II) é incluída no processo corrente da disciplina Risco conforme representado na Figura M.6(b). Originalmente, o processo de realização da análise do risco não previa uma atividade de treinamento do time de projeto pela simplicidade do método, entretanto, com a introdução do iRML, alguns elementos de avaliação e julgamento foram adicionados, fazendo-se necessário um treinamento prévio à sua utilização. Enquanto as atividades da etapa (III) estavam implícitas no processo da disciplina risco, mas tem convergência com as atividades necessárias para utilização do iRML conforme representado na Figura M.6(c).

Figura M.6 – Adaptação dos processos da disciplina Risco para utilização do iRM: adequação de conceitos, formas de expressão (comunicação) e ferramental (a); treinamento e realização da análise do iRML (b); consolidação e comunicação dos resultados (c).



Fonte: Produção do autor.

**APÊNDICE N - GUIA DE ENTREVISTA E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO
DO iRML PARA O ESTUDO DE CASO – ESTUDO CONCEITUAL**

GUIA DE ENTREVISTA PARA AS PROPOSTAS do iRML (*individual Risk Maturity Level*)

O iRML mostra a base de conhecimento, qualidade das informações utilizadas, o grau de consistência e solidez da existência e do julgamento do risco (avaliação do nível do risco).

Portanto, é um indicador para auxiliar na tomada decisão de stakeholders.

Observação: o iRML **NÃO DEVE** ser entendido como o nível do risco (combinação de probabilidade e impacto), ou mesmo o nível individual atribuído a um dos elementos (probabilidade ou impacto).

O julgamento do iRML é realizado através dos seguintes elementos de composição:

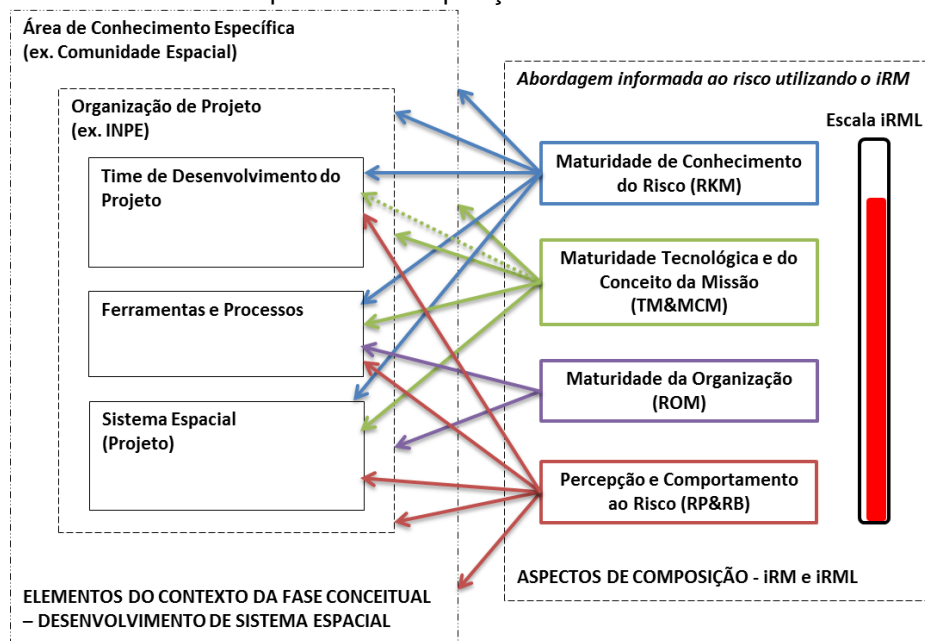
ELEMENTOS DE COMPOSIÇÃO DO iRML	
1. Maturidade de Conhecimento do Risco (RKM)	<p>O RKM representa o conhecimento que suporta a identificação e a avaliação do risco e incerteza(s) associada(s). O elemento é formado pela maturidade: dos dados e informações, do julgamento, das premissas e, do conhecimento e entendimento do assunto relacionado ao risco.</p> <p><i>Objetivo: Apresentar o nível de conhecimento que suporta a existência do risco e o seu julgamento.</i></p>
2. Maturidade Tecnológica e do Conceito de Missão (TM&MCM)	<p>O elemento TM&MCM representa a combinação dos aspectos de maturidade da tecnologia relacionada ao risco com a maturidade de evolução da solução de projeto (conceito da missão).</p> <p><i>Objetivo: Apresentar o nível de incerteza relacionada ao risco, devido à maturidade da tecnologia associada ao risco (nível local) e da solução de projeto como um todo (nível global).</i></p>
3. Maturidade da Organização ao Risco (ROM)	<p>O elemento ROM representa a maturidade da organização quanto aos aspectos de risco, incluindo seus processos, cultura e liderança (maturidade de capacidade).</p> <p><i>Objetivo: Apresentar o nível de maturidade e cultura da organização (quanto à disciplina risco), como fator indireto e que afeta os riscos em si e os processos de análise de risco utilizados nesta organização.</i></p>
4. Percepção do Risco e Comportamento ao Risco (RP&RB)	<p>O elemento RP&RB representa os aspectos psicológicos e socioculturais humanos de percepção e comportamento ao risco que possuem o potencial de impactar as tomadas de decisões durante o processo de análise do risco.</p> <p>- A percepção do risco é o julgamento subjetivo ou a captura perceptiva (mental) do risco e a sua magnitude. Este é um processo mental natural humano que é influenciado por diversos aspectos do contexto: culturais, sócio-políticos e institucionais, cognitivos e afetivos e heurísticos de processamento de informações. Entretanto, este processo está sujeito a geração de respostas distorcidas (não fazer sentido do ponto de vista lógico e racional), denominados de vieses.</p> <p>Por exemplo:</p> <p>(1) o viés de ancoragem é a predisposição de utilizar informações que são facilmente acessíveis pela memória recente como ponto de partida para um julgamento ou geração de uma resposta. A partir desta "âncora inicial", ajustes insuficientemente distantes geram resultados logicamente inconsistentes ou irrealistas como resposta.</p> <p>(2) o viés de otimismo ocorre quando há a tendência de acreditar em um resultado positivo e irrealista para uma determinada situação e, ao mesmo tempo, ignorar ou parcialmente processar (com menor esforço de mental) as informações de conteúdo contraditório. Uma das principais causas do viés é a ilusão de controle de resultados de um evento, provocado pelo sentimento de familiaridade.</p> <p>- O comportamento ao risco consiste na forma em que o avaliador do risco age diante de um risco (resposta final) e pode afetar o julgamento do risco (níveis de probabilidade e consequência).</p> <p><i>Objetivo: Caracterizar os aspectos de comportamento e percepção de risco do especialista, permitindo a identificação de possíveis distorções na análise do risco realizada.</i></p>

Especialista entrevistado pertence à disciplina CPRIME: **NOME DISCIPLINA**
IDs dos Riscos identificados e avaliados pelo entrevistado: **ID X; ID Y; ID Z**

1. Avaliação do iRML estratificado em níveis descritivos (“tipo TRL”)

O iRML estratificado em níveis descritivos tem características de forma semelhantes ao TRL, entretanto, foi projetado em uma escala de cinco níveis, onde o iRML5 – “Risco conhecido e consolidado” é o nível mais alto (de maior maturidade) e o iRML1 – “Preocupação reconhecida” é o nível mais baixo (de menor maturidade).

Relacionamento entre os elementos de contexto de um estudo conceitual em ambiente de engenharia simultânea e os aspectos de composição do iRML:



Utilizando as classificações da tabela abaixo, avaliar:

1. O nível de maturidade dos elementos componentes do iRML (RKM, TM&MCM, ROM, RP&RB), individualmente, para cada risco identificado e avaliado pelo entrevistado.
MARCAR A CÉLULA CORRESPONDE AO NÍVEL DE MATURIDADE DE CADA ELEMENTO, PARA CADA RISCO (CÉLULAS EM BRANCO)
2. O nível de maturidade iRML mais apropriado para cada risco identificado e avaliado pelo entrevistado.
MARCAR A CÉLULA CORRESPONDE AO NÍVEL iRML PARA CADA RISCO (DESTAQUE: COR AZUL)

Obs: O julgamento deve refletir o maior enquadramento com as características apresentadas, portanto, **NÃO É NECESSÁRIO ATENDER TODOS OS CRITÉRIOS** para classificar um risco em determinado nível.

(inserir os IDs dos riscos identificados pelo entrevistado na primeira linha da tabela, **destacados em amarelo**)

ID X	ID Y	ID Z	
			iRML 5 – Risco conhecido e consolidado
			(RKM) O risco é fundamentado em vasto e bem estabelecidos: dados e informações, premissas, conhecimento e experiência do especialista, além de julgamento bastante seguro e concordância de outros especialistas.
X			(TM&MCM) A tecnologia relacionada ao risco tem comprovação em voo e muito baixa dificuldade de realização, enquanto o projeto conceitual é bastante maduro.
			(ROM) Os processos de gerenciamento de risco são maduros, continuamente monitorados, revisados e otimizados. A cultura de risco é bem difundida, as estratégias partem do mais alto nível de governança e há o envolvimento proativo e colaborativo de todas as partes interessadas (internas e externas).
			(RP&RB) Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são plenamente conhecidos. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são identificados, analisados e informados ao usuário.
X			iRML 4 – Risco mensurável
X			(RKM) O risco é fundamentado em suficiente e reconhecidos: dados e informações, premissas, conhecimento e pequena experiência do especialista, além de julgamento seguro e ausência de divergência de outros especialistas.
			(TM&MCM) A tecnologia relacionada ao risco é qualificada ou tem demonstração em ambiente espacial e há pequena ou moderada dificuldade de realização, enquanto o projeto conceitual tem boa maturidade.
			(ROM) Os processos de gerenciamento de risco são consistentes, sistemáticos (organizacionais). A cultura de risco é conhecida e há o envolvimento por compartilhamento entre as partes interessadas, mas não são homogêneos em toda a organização.
X			(RP&RB) Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são conhecidos. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são identificados.
			iRML 3 – Risco identificável
			(RKM) O risco é fundamentado em: poucos e relevantes dados e informações, premissas de base teórica, conhecimento geral e experiência singular do especialista, além de julgamento seguro e poucas discordâncias de outros especialistas.
			(TM&MCM) A tecnologia relacionada ao risco tem demonstração ou validação em ambiente relevante e moderado ou alta dificuldade de realização, enquanto o estudo conceitual explorou o espaço de alternativas de soluções candidatas (arquiteturas).
X			(ROM) Os processos de gerenciamento de risco são compartilhados entre alguns grupos. A cultura organizacional de risco está em desenvolvimento e há um envolvimento local e proativo das partes interessadas no gerenciamento de riscos.
			(RP&RB) Os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco são parcialmente conhecidos. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco são parcialmente ou pontualmente identificados.
			iRML 2 – Risco suposto
			(RKM) O risco é fundamentado em dados e informações únicos com incerteza de: relevância, premissas de base teórica singular, conhecimento geral e sem experiência do especialista, além de julgamento incerto e não concordância de outros especialistas.
			(TM&MCM) A tecnologia relacionada ao risco tem validação em laboratório ou funcionalidades experimentalmente demonstradas e muito alta dificuldade de realização, enquanto o estudo conceitual analisou a viabilidade preliminar da missão e estabeleceu os requisitos.
			(ROM) Os processos de gerenciamento de riscos são locais e individuais. Não há uma cultura de risco estabelecida, apesar do reconhecimento dos seus benefícios e o envolvimento das partes interessadas é limitado.
			(RP&RB) Não é possível afirmar a existência de conhecimento (incipiente) ou há negligência sobre os conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco. A possibilidade de existência de vieses, distorções provocadas pelo comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco não são identificadas e avaliadas.
			iRML 1 – Preocupação reconhecida
			(RKM) O risco é fundamentado em: informação única com grande incerteza de relevância, premissas são "best guess", especialista com formação acadêmica em área relacionada e sem experiência, além de julgamento não seguro e fortes divergências de outros especialistas.
			(TM&MCM) A tecnologia relacionada ao risco é conceitual ou tem os princípios básicos observados e o grau de dificuldade de realização é extremo, enquanto o estudo explorou as necessidades de stakeholders e objetivos da missão.
			(ROM) Não existem processos de gerenciamento de riscos, noção sobre cultura de risco, entendimento dos princípios e processos de gerenciamento de riscos, além de existir comportamento reativo aos eventos de risco ("apagar incêndio").
			(RP&RB) Não há conhecimento dos conceitos de psicologia e ciências sociais de tomadas de decisão ao risco. Não há qualquer consciência sobre a possibilidade de existência de vieses, o comportamento ao risco e seus potenciais impactos para o risco.

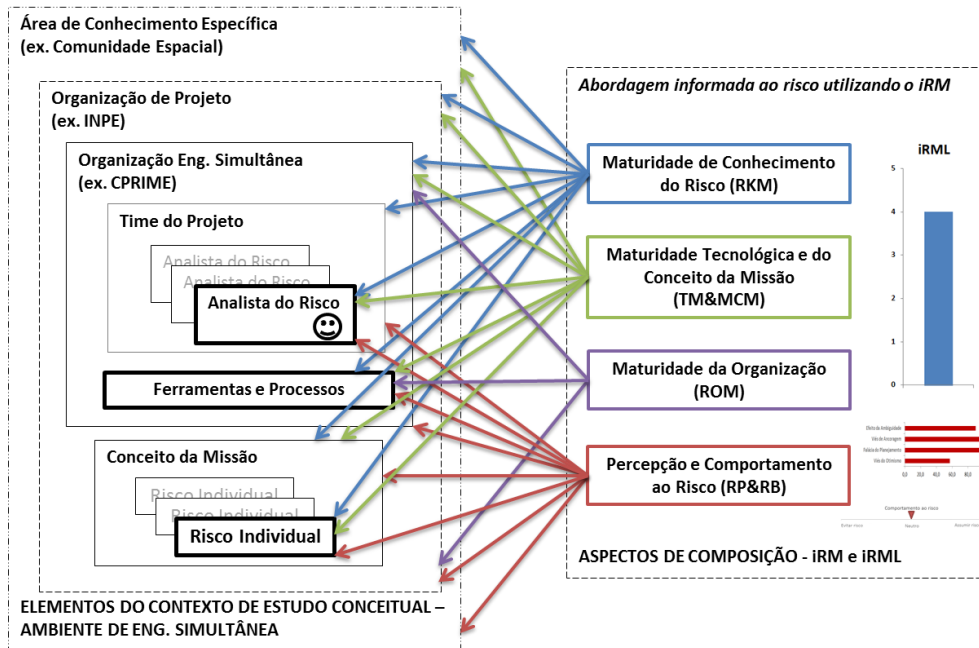
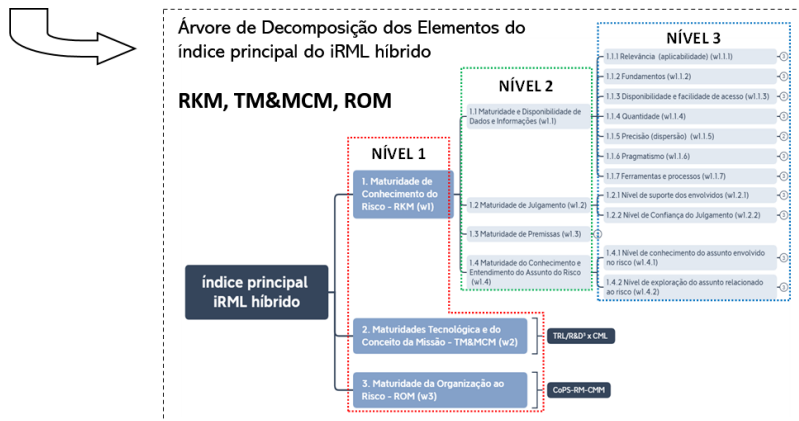
Comentários e Sugestões (livre descrição): **COMENTÁRIO...**

2. Avaliação do iRML híbrido – estratificado em seus componentes (utilizando a planilha Excel disponibilizada)

O iRML híbrido consiste na decomposição dos elementos formadores do iRML (RKM, TM&MCM, ROM, RP&RB) em atributos específicos a serem avaliados pelo especialista, provendo um indicador mais refinado da maturidade.

OBS: A representação gráfica do iRML híbrido consiste em três elementos (ver Figura abaixo): (I) índice principal do iRML híbrido, composto da combinação dos elementos RKM, TM&MCM e ROM; (II) índices de possibilidade de existência dos vieses (representação do RP&RB – parte 1); e (III) indicador do comportamento ao risco, (representação do RP&RB – parte 2).

REPRESENTAÇÃO DA FORMAÇÃO DO iRML híbrido

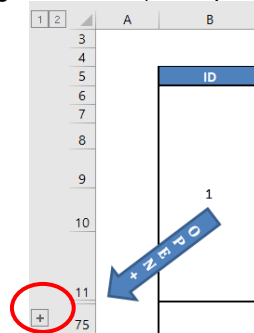


Considerando um maior detalhamento para o julgamento do iRML, avaliar os atributos individuais disponibilizados na planilha Excel.

Observação: a avaliação dos atributos individuais deve refletir o melhor julgamento possível (não necessariamente exato), de acordo com o risco sob avaliação.

INSTRUÇÕES:

- A) Identificar o Risco a ser avaliado;
- B) Habilitar a expansão do agrupamento de linhas (símbolo +), localizado na faixa à esquerda do número das linhas da planilha, da linha imediatamente abaixo do Risco a ser avaliado, conforme imagem abaixo (exemplo ilustrado para o risco ID1):



- C) Seguir as instruções de avaliação (na parte superior de cada agrupamento de atributos) dos atributos individuais (identificados por lista de níveis, por exemplo: 1.1.2), conforme a imagem abaixo:

Marcar a alternativa correspondente à cada atributo de avaliação.
Obs. Apenas uma alternativa deve ser escolhida por atributo, utilizar letra X (maiúsculo).

<p>1.1.1 Relevância (aplicabilidade) Relevância dos dados e informações no sentido de adequação ao propósito desejado e atualidade temporal. Objeto: objeto do risco (ex. produto, função, tecnologia) Contexto: ambiente e atributos dos elementos (ex. pressão, temperatura, condições de operação) Temporal (eliminar): validade de atualidade (ex. validade de método de obtenção ou medida, conhecimento atual)</p>	<input type="checkbox"/> Mesmas características do objeto e contexto com validade temporal. <input type="checkbox"/> Características semelhantes do objeto e contexto com validade temporal. <input type="checkbox"/> Poucas características semelhantes do objeto ou contexto com desconhecida validade temporal.
<p>1.1.2 Fundamentos Origem de formação dos dados e informações. Origem teórico-experimental: derivador de acadêmico, simulação, experimento em laboratório Origem de campo: ambiente operacional real: herança em voo, projetos finalizados ou lições aprendidas</p>	<input type="checkbox"/> Dados de campo (ambiente operacional real) e suporte técnico-experimental <input type="checkbox"/> Somente teórico-experimental <input type="checkbox"/> Desconhecido
<p>1.1.3 Disponibilidade e facilidade de acesso Disponibilidade e facilidade de acesso (por busca ou obtenção) de dados e informações. Disponibilidade está relacionada ao número de fontes e amplitude divulgação. Acessibilidade está relacionada ao grau de dificuldade ao acesso por obtenção (simulação, modelos) ou busca (fontes, base de pesquisa)</p>	<input type="checkbox"/> Ampla disponível ou facilmente acessível <input type="checkbox"/> Pouco disponível ou acesso sob demanda <input type="checkbox"/> Acesso restrito
<p>1.1. Maturidade e Disponibilidade de Dados e Informações Dados e informações utilizadas que dão suporte a análise (identificação e avaliação) do risco.</p>	<p>1.1.4 Quantidade Quantidade de dados e informações (relacionado ao fator temporal, volume de dados e número de diferentes fontes). Fator temporal: relativo ao período de abrangência dos dados (ex. dados coletados durante 11anos de operação). Volume de dados: quantidade total, somando os conjuntos únicos de dados (mediadas amostras). Quantidade de fontes: relacionado a diferentes origens ou contextos (ex. diferentes projetos, diferentes fornecedores, diferentes organizações).</p>

A avaliação dos atributos de “figuras de mérito” pode utilizar o Guia individual disponibilizado ([hiperlink](#) adicionado para facilidade de acesso à aba GUIAS da planilha).

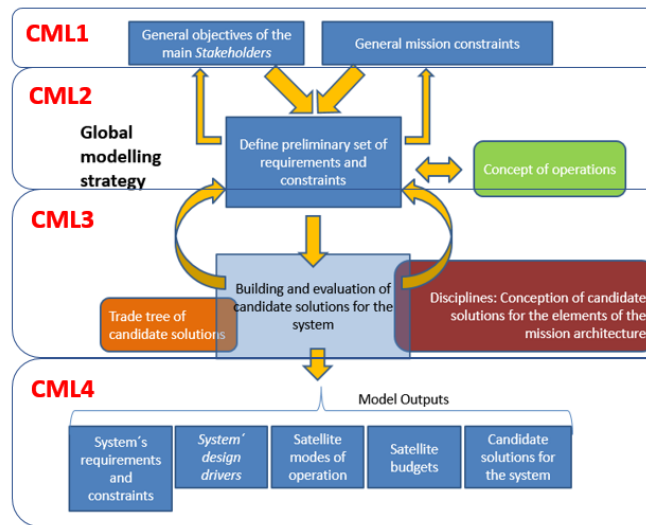
Atribuir o nível correspondente de cada figura de mérito.
Obs. A faixa de avaliação dos níveis é indicada através de [].
O guia para avaliação de cada figura de mérito pode ser acessado via hiperlink (_)

<p>TRL [1 - 9] (Guia TRL) Technology Readiness Level (TRL) da tecnologia relacionada ao risco sob análise. Quando tratar-se de nível hierárquico que agrega mais de uma tecnologia, utilizar o TRL mais baixo ("weakest link").</p>	
<p>R&D³ [1 - 5] (Guia R&D³) Research and Development Degree of Difficulty (R&D³) consiste no nível de dificuldade de pesquisa e/ou desenvolvimento da tecnologia relacionada ao risco.</p>	
<p>CML [1 - 4] (Guia CML) Concept Maturity Level (CML) consiste no nível de maturidade do conceito de missão sob análise no instante de avaliação ou revisão da avaliação do risco.</p>	
<p>CoPS-RM-CMM [1 - 5] (Guia CoPS-RM-CMM) Risk Management Capability Maturity Model for Complex Products Systems (CoPS-RM-CMM) consiste no nível de maturidade de capacidade de gestão de risco da organização de origem do analista do risco.</p>	

OBS1. O TRL deve considerar a avaliação do especialista para a tecnologia relacionada ao risco (no Estudo Conceitual, o TRL do fornecedor do nível equipamento foi identificado na planilha Systems para cada Opção de solução, ver abas OP1-3, OP2 e OP3).
OBS2: O R&D³ deve ser avaliado pelo especialista e considerar a mesma tecnologia avaliada no TRL.

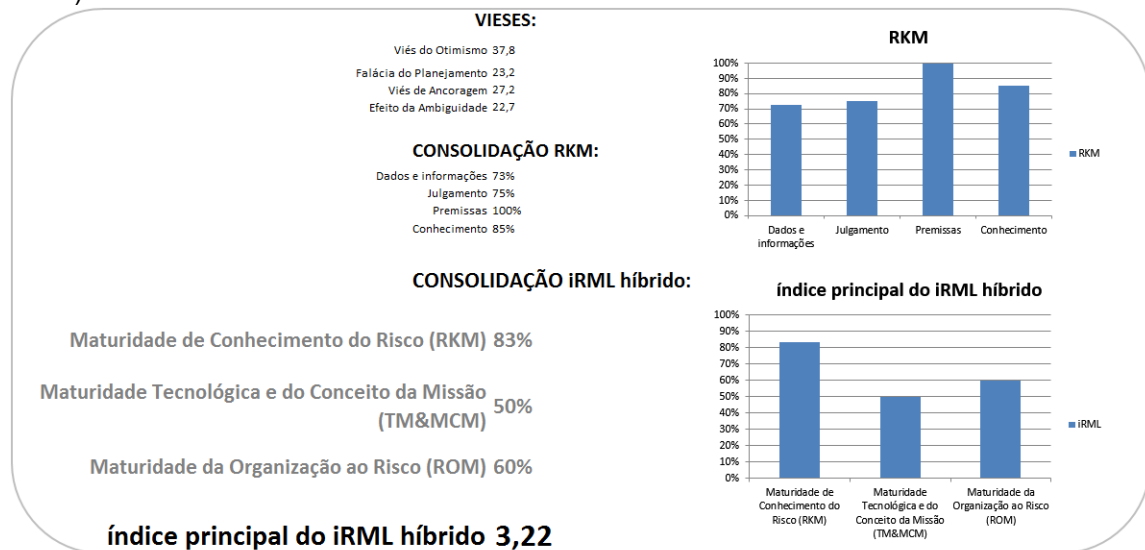
OBS3: O CoPS-RM-CMM deve ser considerado igual a 3 (*default* na ferramenta Excel disponibilizada).

OBS4: O CML deve ser considerado nível 4, exceto se o risco foi identificado e avaliado na fase inicial ou intermediária do estudo (ver Figura abaixo).



D) Ao finalizar o julgamento dos atributos, o quadro detalhado de resultados é automaticamente preenchido e um valor do índice principal do iRML híbrido é apresentado na parte inferior, conforme imagem abaixo:

E)



Preencher o índice principal do iRML híbrido resultante para cada Risco identificado e avaliado pelo entrevistado durante a realização da entrevista, na tabela abaixo:

ID RISCO	índice principal do iRML (híbrido)
ID X	Resultado ID X
ID Y	Resultado ID Y
ID Z	Resultado ID Z

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO**

QUESTIONÁRIO

Marcar a alternativa que melhor represente a sua visão sobre a avaliação do iRML.

UTILIDADE

(Q1) O iRML é útil para informar o nível de maturidade (subjacente) de um risco.

Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q2) O iRML, se utilizado como elemento informativo em tomadas de decisão, complementa o julgamento do risco (níveis de probabilidade e consequência).

Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

EFICÁCIA

(Q3) O iRML representa, de fato, a maturidade de um risco.

Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

CONSISTÊNCIA

(Q4) Os componentes avaliados no iRML e o resultado obtido fazem sentido.

Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q5) Existem diferentes níveis de importância (pesos) para a maturidade de um risco quanto aos elementos ou atributos do iRML. Quais elementos ou atributos do iRML são menos relevantes (se aplicável, comentar)?

Concordo totalmente	Concordo	Não estou decidido	Discordo	Discordo totalmente
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

COMPARAÇÃO

As duas formas de avaliação do iRML são identificadas por:

(1) iRML estratificado em níveis descritivos - escala e (2) iRML híbrido com avaliação detalhada dos componentes.

(Q6) Qual alternativa é mais adequada para avaliação de maturidade do risco (1) ou (2)?

(1)	(2)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q7) Em comparação entre as duas formas de avaliação do iRML (1) e (2), o detalhamento das componentes (iRML híbrido) ajuda na avaliação?

SIM	NÃO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q8) O nível de iRML julgado na avaliação direta (1) seria alterado, dado a posterior avaliação dos componentes individuais do iRML (2)?

SIM	NÃO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q9) Qual abordagem tem maior facilidade de utilização?

(1)	(2)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

(Q10) Qual é o nível de dificuldade e a velocidade para avaliação do iRML nas duas alternativas?

	iRML descritivo (1)	iRML híbrido (2)
Nível de dificuldade	<input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> baixo	<input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> baixo
Velocidade de avaliação	<input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> baixo	<input type="checkbox"/> alto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> baixo

Comentários e Sugestões (*livre descrição*): **COMENTÁRIO...**

APÊNDICE O - RESPOSTAS AOS COMENTÁRIOS E SUGESTÕES DOS ENTREVISTADOS SOBRE O USO DO iRML PARA O ESTUDO DE CASO – ESTUDO CONCEITUAL

Tabela O.1 - Respostas aos comentários e sugestões dos entrevistados sobre o uso do iRML (escala).

Esp.	Comentário
E1	<p>Descrição global do RKM não permite flexibilizar julgamento de cada item. Talvez quebrar as avaliações e posteriormente juntá-los para chegar a uma nota final.</p> <p>(RESPOSTA) Esta é a dificuldade de utilizar o modelo em escala do iRML, dado que existem diferentes níveis de julgamento para cada atributo, dificultando o enquadramento de um risco. O modelo híbrido do iRML propõe a avaliação individual de cada atributo e automaticamente gera um resultado.</p>
E1	<p>Atualmente no CPRIME o estudo de risco tem como objetivo principal uma avaliação comparativa. A escolha das opções não é pautada pelo risco, pois em alguns casos precisamos avaliar condições de um envelope.</p> <p>(RESPOSTA) Este comentário trata-se da metodologia e estratégia da disciplina risco no CPRIME, assunto que está relacionado ao trabalho desenvolvido, mas não faz parte do objetivo principal. O iRML, como uma ferramenta genérica, poderá ser utilizado para diferentes fins, cabendo ao usuário (e.g., CPRIME) esta decisão.</p> <p>Concordo com a visão do entrevistado sobre a utilização dos resultados da análise de risco em estudos já realizados no CPRIME: para prover aos demandantes do estudo ou outros interessados, uma avaliação comparativa (na visão de riscos) de opções de projetos conceituais apresentados como resultado de um estudo.</p> <p>Quanto ao uso do risco como critério para a escolha das opções (escolha das alternativas de solução a serem exploradas em maior detalhamento em um estudo – árvore de trade), não fica explícito a utilização da análise de risco nessa tomada de decisão, inclusive porque a análise de riscos somente é formalizada ao final de um estudo (conforme as estratégias até então utilizadas no CPRIME). Entretanto, tacitamente, há a consideração dos aspectos de risco de forma intuitiva.</p> <p>Quanto a questão de granularidade dos riscos, também faz parte da estratégia adotada em um estudo. Nos estudos já realizados no CPRIME, os riscos específicos são identificados e avaliados e somente uma avaliação qualitativa global das soluções (opções de projeto) é provida na forma de conclusão do estudo. Assim, o julgamento global sobre o nível de risco de cada opção de solução apresentada é de responsabilidade do demandante do estudo ou de outros interessados que farão uso das informações geradas. Portanto, a visão do entrevistado é correta, pois não há uma compilação ou agregação dos riscos para formar um “risco geral” das soluções alternativas de projeto conceitual, o que dificulta a avaliação de um envelope.</p>
E1	<p>Os quatro critérios utilizados deveriam ter pesos diferentes. Por exemplo, o critério RP&RB deve ser só relevante se tiver alto impacto no resultado, pois em situações ideais a parte técnica deveria prevalecer ante a parte pessoal dos integrantes do grupo. O critério RKM deveria ter peso maior em comparação aos outros critérios.</p> <p>(RESPOSTA) Este aspecto consiste em outra dificuldade de utilizar o modelo em escala, dado que não permite a flexibilidade neste sentido. Alternativamente, uma política de julgamento poderia ser estabelecida, provendo para cada situação de uso, uma priorização do julgamento quanto aos elementos mais relevantes, como uma espécie de “critério de desempate” para o julgamento do nível mais adequado de iRML.</p>
E1	<p>No instante que é feito a análise de missão pelo CPRIME não está definido quais as equipes que irão trabalhar no satélite, se este avançar para as próximas fases. Como isso afeta a análise da incerteza dos riscos?</p> <p>(RESPOSTA) A avaliação do iRML reflete o instante e características do contexto que um risco foi identificado e avaliado. Portanto, de acordo com a política ou processo de (gestão de) riscos adotados em determinado projeto ou contexto, os riscos são continuamente monitorados e reavaliados. No caso específico de mudança da equipe de projeto, os riscos identificados durante um estudo CPRIME devem ser reavaliados e, conseqüentemente, o iRML também. Caso ocorram mudanças no risco (e.g., declaração do cenário, do impacto ou avaliação de probabilidade e consequência), o iRML deverá refletir o novo contexto.</p>

continua

Tabela O.1 – Conclusão.

Esp.	Comentário
E1	<p>Os aspectos técnicos e programáticos de um mesmo risco deveriam ser avaliados por pessoas diferentes, pois nem sempre o grupo técnico tem as informações e conhecimentos de quem coordenada a parte programática.</p> <p>(RESPOSTA) Este comentário trata-se da metodologia e estratégia da disciplina risco no CPRIME, assunto que está relacionado ao trabalho desenvolvido, mas não faz parte do objetivo principal. Concordo com o comentário do entrevistado. A avaliação de um risco poderia ser o resultado de consenso de um grupo de pessoas envolvendo as especialidades que melhor se adequam ao assunto julgado. No caso do iRML em escala, há uma maior flexibilidade para o julgamento qualitativo do nível de conhecimento e experiência envolvidos na análise de um risco.</p>
E1	<p>As premissas utilizadas pelos riscos programáticos são também parte da avaliação da maturidade do risco? Por exemplo, o risco 4 se baseia no insucesso de projeto do risco 3. Essa hipótese é parte da avaliação ou deve ser considerada como um cenário e a avaliação da maturidade ser aplicada somente nas consequências desse cenário? Eu considerarei que as premissas são também avaliadas pelo iRML, mas isso precisaria ficar claro para garantir uniformidade no uso da ferramenta.</p> <p>(RESPOSTA) Sim. As premissas utilizadas na análise de um risco (de qualquer natureza) refletem importantes aspectos de maturidade e incertezas assumidas pelo avaliador do risco. Quanto a construção dos riscos específicos apontados pelo entrevistado, há uma questão a ser tratada na metodologia de análise de riscos do CPRIME (não abordado no escopo deste trabalho) quanto a categorização de riscos (e.g., desempenho da missão e execução do projeto (KLEIN, JR., 2011)) que poderia solucionar esta questão de interdependência entre riscos.</p>
E3	<p>Dificuldade para avaliar o elemento ROM, pois transcende o estudo realizado (considera o INPE como um todo).</p> <p>(RESPOSTA) Sim, por isso é sugerido no processo geral de uso do iRML que a avaliação do ROM seja realizada pela disciplina riscos, programatics e systems.</p>
E4	<p>ID 14 não é possível atrelar a uma tecnologia específica da solução. A avaliação geral do iRML para o ID14, estaria entre o iRML 2 e iRML 3.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. Quando nenhuma relação tecnológica é encontrada para relacionar ao risco, entende-se que não há potenciais modificadores do risco em questão. O assunto será melhor tratado e uma solução deverá resolver essa questão. E.g., os elementos tecnológicos poderiam ser desconsiderados do iRML quando nenhuma relação é encontrada.</p>
E4	<p>Dificuldade de avaliar o INPE como um todo com relação à maturidade de gestão de risco (ROM).</p> <p>(RESPOSTA) Ok. Por isso é sugerido no processo geral de uso do iRML que a avaliação do ROM seja realizada pela disciplina riscos, programatics e systems.</p>
E6	<p>O aspecto tecnológico para avaliar os sistemas operacionais é dificultado (não aplicável), pois as declarações estão relacionadas ao ambiente espacial.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. O TM&MCM tem como referência o TRL que utiliza termos como herança em voo, dificultando a avaliação de elementos não espaciais.</p>
E7	<p>Dificuldade de interpretar o que quer dizer com discordância iRML3 – RKM, pois o assunto relacionado ao risco tem divergências acadêmicas. “julgamento seguro e ausência de divergência de outros especialistas”</p> <p>(RESPOSTA) Ok. A interpretação a ser usada está relacionada ao suporte de envolvidos no julgamento e identificação específicos do risco em avaliação, dentro do contexto de um estudo conceitual.</p>
E7	<p>TM&MCM: A questão [do assunto do risco] é estudada através de simulação numérica. A simulação desse fenômeno via testes é inviável.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>
E7	<p>Dificuldade de avaliar o ROM. Esse elemento é estrutural do INPE.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. Por isso é sugerido no processo geral de uso do iRML que a avaliação do ROM seja realizada pela disciplina riscos, programatics e systems.</p>
E7	<p>RP&RB: estes aspectos nunca foram tratados no ambiente CPRIME.</p> <p>(RESPOSTA) Sim. Isso está relacionado a maturidade à gestão de risco na organização.</p>
E7	<p>O RKM é entendido como o critério de maior importância para o iRML, para este caso.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>

Fonte: Produção do autor.

Tabela O.2 - Respostas aos comentários e sugestões dos entrevistados sobre o uso do iRML (híbrido).

Item da entrevista	Espec.	Comentário
iRML híbrido	E1	A descrição da última alternativa no item de avaliação sobre ferramentas e processos (1.1.7) deveria ser algo não sólido ou não confiável, gerando contraste com os demais critérios. (RESPOSTA) Ok. A alternativa será reavaliada. Esse aspecto foi definido com a premissa de que todos os modelos construídos devem possuir uma base teórica sólida.
	E1	O termo exaustivamente explorado (1.4.2) deveria ser menos enfático, dado o contexto do CPRIME. (RESPOSTA) Ok. A alternativa será reavaliada. A inclusão de um novo qualificador como: "considerando as limitações do contexto" poderá minimizar este efeito.
	E1	O link "Guia CoPS-RM-CMM" está apontando incorretamente para "Guia de Avaliação do CML" (RESPOSTA) Ok. O link será corrigido.
	E1	O valor do iRML só é visto abrindo os campos das células escondidas. Adicionar um campo junto com o gráfico que mostre o valor rapidamente para o usuário. (RESPOSTA) Ok. O valor numérico do iRML híbrido será exposto ao usuário. Entretanto, a forma gráfica é utilizada para minimizar o uso deste elemento numérico de forma determinística.
	E6	Os julgamentos foram realizados utilizando um contexto específico. (RESPOSTA) Ok. Riscos mal formulados podem gerar dificuldade de avaliação do iRML. Soma-se ao fato que o estudo de caso foi realizado após longo tempo de finalização do estudo conceitual.
	E6	Atributo 1.1.5 não foi avaliado, não é aplicável. (RESPOSTA) Ok. Pode ser um caso isolado.
	E6	Não há como apontar o nível de R&D³ pois não há conhecimento do esforço técnico necessário para ... (RESPOSTA) Ok. Isso evidencia que o risco foi pouco explorado.

Fonte: Produção do autor.

Tabela O.3 - Respostas aos comentários e sugestões dos entrevistados sobre as questões do questionário.

Item da entrevista	Espec.	Comentário
Geral	E5	<p>Não considerei nas respostas abaixo os fatores TRL e R&D3, ou seja, não avaliei a ferramenta em relação a não adequação aparentemente existente entre estes parâmetros e avaliação de riscos programáticos.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. Essa dificuldade é discutida na análise dos resultados do trabalho.</p>
Q1	E1	<p>No entanto este índice não indica se um risco pode ser maior ou menor do que avaliado. Talvez se houvesse alguma forma de indicar o sentido da incerteza, ou seja, se tende a aumentar ou diminuir o risco, isso teria um uso mais amplo.</p> <p>(RESPOSTA) A avaliação do iRML não tem o propósito de indicar se o risco pode ser maior ou menor (se o julgamento está correto). A ideia principal é mostrar a base de maturidade (conhecimento, nível tecnológico e maturidade do conceito de solução, influência da maturidade da organização ao risco e aspectos comportamentais e psicológicos) na qual o risco foi identificado e avaliado. Isto permite ao decisor tomar as suas ações (informadas ao risco) com um maior nível informacional sobre o risco apresentado.</p>
	E6	<p>O método iRML híbrido não mostra segurança quanto ao resultado final obtido. Há um alto nível de subjetividade na avaliação das características.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. A caracterização genérica dos atributos necessita de uma interpretação e adoção de um contexto para o julgamento.</p>
Q2	E1	<p>Não está claro para mim como o usuário irá interpretar o iRML para a tomada de decisão. A incerteza pode tanto ser a favor como contrário ao risco. Se ele interpretar de forma conservativa como algo que aumenta o risco, pode acabar sendo muito conservativo.</p> <p>(RESPOSTA) O uso do iRML para auxiliar tomadas de decisão (informadas ao risco) permite ao decisor a liberdade de explorar melhor algum risco (no caso de um risco com iRML baixo) antes de tomar decisões que envolvem altos níveis de recursos (e.g., prazo, custo). Alternativamente, quando um risco é apontado com alto iRML, o decisor tem maior segurança em direcionar esforços de mitigação. Adicionalmente, a combinação dos aspectos de comportamento e percepção de risco com os demais elementos de maturidade auxilia no julgamento do decisor sobre a "confiança" em determinado risco.</p>
	E1	<p>O iRML mede a confiabilidade do risco, explicitando diversos aspectos que dão suporte (ou faltam) a avaliação do risco. Neste sentido, serve para indicar se mais trabalho ou recursos devem ser alocados para sanar as incertezas do risco.</p> <p>(RESPOSTA) Perfeita interpretação do propósito do iRML.</p>
Q3	E1	<p>O iRML mede a confiabilidade do risco, explicitando diversos aspectos que dão suporte (ou faltam) a avaliação do risco. Neste sentido, serve para indicar se mais trabalho ou recursos devem ser alocados para sanar as incertezas do risco.</p> <p>(RESPOSTA) Perfeita interpretação do propósito do iRML.</p>
	E4	<p>Deve-se realizar alguma adaptação de acordo com o tipo do risco. Nesse exemplo, o risco 13 está associado a questões tecnológicas bem conhecidas, já o risco 14 está associado a questões físicas onde não temos conhecimento completo. Portanto, acredito que para aumentar a eficácia do índice, isso deveria estar incorporado de alguma forma nos pesos.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. No método atual, o poder de decisão sobre os pesos é diferente, enquanto o iRML escala permite esse julgamento ao avaliador do risco, o iRML híbrido permite apenas ao stakeholder.</p>
	E6	<p>Entende que há importância em complementar as informações de riscos com informações de maturidade dos riscos.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>
Q4	E1	<p>Para os itens avaliados até o momento, existe consistência qualitativa entre as opções marcadas e a nota final apresentada pela planilha.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>
Q5	E1	<p>Me parece que a relevância dos atributos depende dos aspectos que estão sendo avaliados. Por exemplo, no risco programático, o cenário assumido é muito importante para as avaliações subsequentes. Já para um risco tecnológico, podem existir outros fatores mais relevantes como por exemplo se aquela tecnologia tem TRL baixo ou alto.</p> <p>(RESPOSTA) Existe a flexibilidade de atribuir diferentes pesos aos atributos no iRML híbrido, entretanto, para a generalização do iRML como um indicador, a padronização deve ser levada em consideração, pois é diretamente relacionada à comparabilidade entre riscos.</p>

continua

Tabela O.3 – Continuação.

Item da entrevista	Espec.	Comentário	
Q5	E3	<p>Não entendi a pergunta; Com o que eu tenho que concordar ou discordar?</p> <p>(RESPOSTA) A questão tem o objetivo de perguntar se, na visão do entrevistado, deveriam existir diferentes pesos (importância) entre os elementos do iRML na formação do índice final?</p> <p>Na ferramenta excel, há flexibilidade para o demandante de um estudo estabelecer diferentes pesos de importância entre os elementos do iRML, com o objetivo de adequar o índice final iRML de acordo com a necessidade de cada missão/decisões.</p>	
	E4	<p>Acredito que a questão sobre psicologia e ciências sociais (RP&RB) é difícil de ser abordada em diversos casos, obtendo respostas diferentes de acordo com a pessoa que avalia. Dessa forma, a precisão do índice pode ser diminuída.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. Essa ainda é uma questão na aplicação prática do método. O poder de decisão na versão corrente proposta está nas mãos do stakeholder de um estudo, seguindo a filosofia RIDM.</p>	
	E5	<p>Acho que os elementos relacionados a experiência de quem avalia o risco tem mais peso que a cultura da organização em relação ao tratamento do risco.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>	
	E6	<p>Depende do risco. Enquanto riscos relacionados a maturidade tecnológica, deveriam ter maior peso do elemento tecnológico. Entendo que a definição de pesos de importância deveria estar no controle do avaliador do risco, enquanto outro sistema de definição de importâncias deveria ser elaborado para o decisor (usuário do risco). Para os riscos avaliados, concordo com a distribuição estabelecida para o exercício.</p> <p>(RESPOSTA) Essa questão está relacionada com o objetivo central do iRML, quanto prover o poder de decisão para os stakeholders sobre a importância relativa de cada elemento, retirando (parcialmente) o nível de julgamento do avaliador do risco.</p>	
	E7	<p>Em geral, o RKM e o TM&MCM tem maior relevância que os demais elementos. Entretanto, o TM&MCM pode ter maior relevância em situações (riscos) que envolvem o funcionamento dos equipamentos.</p> <p>1. Risco de desenvolvimento (para obter esta tecnologia): TM&MCM é mais importante.</p> <p>2. Risco de operação (funcionamento), impacto do funcionamento para o sistema em geral: RKM é mais importante (este é o caso deste risco que foi avaliado ID10)</p> <p>(RESPOSTA) Essa questão está relacionada com o objetivo central do iRML, quanto prover o poder de decisão para os stakeholders sobre a importância relativa de cada elemento, retirando (parcialmente) o nível de julgamento do avaliador do risco.</p>	
	Q6	E1	<p>Apesar de mais trabalhoso, o iRML híbrido permite escolhas que não são conflitantes, como ocorre no estratificado, em que por definição estão agrupados itens que não precisam ser todos atendidos.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>
		E4	<p>Eu, particularmente, vejo aplicabilidade de ambas as abordagens. Dependendo do cenário (do risco), uma pode ser melhor do que a outra.</p> <p>(RESPOSTA) Ok. A questão de aplicabilidade prática das duas abordagens está em discussão.</p>
E5		<p>A abordagem (1), do jeito que está, leva a situações ambíguas em relação a classificação da maturidade do risco.</p> <p>(RESPOSTA) Existe uma dificuldade inerente na avaliação utilizando a escala, pois os elementos de composição do iRM não são correlacionados. Investigações futuras serão realizadas no sentido de modificar a descrição dos níveis iRML da escala.</p>	
E6		<p>Escala permite um feeling melhor. O método híbrido gera dúvida quanto à fidelidade das respostas.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>	
E7		<p>Nesta alternativa é possível colocar o peso de importância entre os elementos.</p> <p>(RESPOSTA) Ok.</p>	

continua

Tabela O.3 – Conclusão.

Item da entrevista	Espec.	Comentário
Q7	E1	O resultado sai automaticamente a partir de escolhas não conflitantes. No iRML estratificado, é necessário uma escolha final global que introduz mais incertezas a avaliação. (RESPOSTA) Ok.
	E4	Eu acredito que fique mais fácil de se avaliar utilizando esse detalhamento, mas depende do tipo do risco. (RESPOSTA) Ok.
	E6	(1) é mais intuitivo, enquanto (2) deixa o avaliador inseguro (necessidade de interpretação). (RESPOSTA) Ok.
Q8	E1	Somente um método deveria ser utilizado na prática, para não duplicar o trabalho do usuário. (RESPOSTA) Ok. Dado que o avaliador entende que não haveria alteração da avaliação do iRML estratificado em níveis, após a utilização do iRML híbrido, parece ser possível a construção de uma escala, mesmo considerando a dificuldade de escolhas conflitantes.
	E4	Nesse caso, ambas as abordagens forneceram resultados bem próximos. (RESPOSTA) Ok.
	E6	Entende que o uso das duas abordagens é complementar. (RESPOSTA) Ok.
Q9	E1	O método (1) é mais fácil de utilizar, mas é menos preciso. Há também o risco do usuário desconsiderar os subníveis e dar a nota final sem passar por cada item, visto que a nota final não está automaticamente vinculada com as outras avaliações. (RESPOSTA) Neste ponto fica claro um desvinculamento entre alguns elementos do iRML para a convergência de julgamento do nível mais adequado ao utilizar o método estratificado em níveis.
	E4	Eu também acho que a maior facilidade no uso depende do tipo de risco. (RESPOSTA) Ok.
	E7	O método (1) é mais simples, mas o entendimento e julgamento é mais difícil. (RESPOSTA) Ok.
Q10	E1	O custo mais elevado do método (2) é proporcional ao ganho na precisão da avaliação; Uma escala contínua possui maior precisão na avaliação do iRML. Enquanto na escala não contínua, mais uma incerteza é adicionada na avaliação. (RESPOSTA) O avaliador apresenta claramente uma visão favorável ao iRML híbrido, mesmo considerando maior tempo e dificuldade relativos para utilização do método.
	E5	Sugestão para o futuro: neste item, ao invés das opções baixo, médio e alto para a velocidade de avaliação, talvez seja melhor colocar intervalos de tempo dispendidos na avaliação, por exemplo, até 5 min, entre 5 e 10 min, acima de 15 min. (RESPOSTA) Ok. Comentário está relacionado a melhoria do questionário e forma de obtenção das percepções de forma mais objetiva.
	E6	Preocupação com o tempo para utilização da ferramenta em ambiente real. (RESPOSTA) Ok.
	E7	Preferência para o segundo método, dado que não há a dificuldade de julgar os pesos e o entendimento/contextualização de todos os aspectos propostos de composição. (RESPOSTA) Ok.

Fonte: Produção do autor.

ANEXO A - ANÁLISE DE RISCO EM ESTUDOS CONCEITUAIS DE MISSÃO DO TEAM-X/NASA E CDF/ESTEC-ESA

A.1 Disciplina risco em estudo do Team-X: Gravitational-Wave Mission Concept

Esta Seção apresenta a visão do autor sobre a estruturação da disciplina risco no estudo *Gravitational-Wave Mission Concept* realizado pelo Team-X em 2012, utilizando como referência o relatório final do estudo (JPL/NASA, 2012).

O estudo foi iniciado considerando como entrada um RFI (*Request for Information*), workshop e estudos anteriores. Foi conduzido por um time de cientistas e engenheiros, um time da comunidade científica, representando as comunidades de ondas gravitacionais, astrofísica, e física fundamental, e uma força-tarefa científica, totalizando, aproximadamente, 40 pessoas. Três conceitos de missão e duas opções foram selecionadas para análise e estimativa de custo pelo Team-X (JPL).

A Figura A.1 mostra o resumo das características principais dos conceitos de missão considerados no estudo e apresentado no sumário executivo do relatório final do estudo (JPL/NASA, 2012). Observa-se o formato resumido de apresentação dos níveis de risco identificados para as diferentes opções de solução analisadas. Nota-se que os níveis de risco identificados são: alto, médio e baixo combinado com esquema de cores (verde, amarelo e vermelho) e é utilizado como forma de comparar os conceitos. Além da representação resumida na tabela, o sumário executivo também apresenta “*General Findings*” onde são apresentados alguns aspectos de *trade-offs* que inclui o posicionamento do time de projeto sobre os riscos envolvidos.

Ao longo do relatório, as características de risco são apresentadas em cada Seção referente aos subsistemas avaliados em duas formas diferentes, no formato de "Findings", conforme mencionado no sumário executivo, e no formato de tabela comparativa, conforme exemplo (Sistema de Referência Inercial) da Figura A.2.

O relatório (JPL/NASA, 2012) também apresenta uma Seção própria para apresentação dos resultados da análise de risco onde consolida todas as informações geradas. Nesta Seção, é apresentada a categorização dos tipos de

risco adotada pelo Team-X, com o critério de como uma saída afeta a missão, se o risco for realizado. Os tipos de risco adotados são: riscos de implementação (implementation risk), de missão (mission risk) e de proposta (proposal risk), conforme comparação apresentada na Figura A.3 com a classificação de riscos “tradicional”.

Figura A.1 - Resumo das opções e conceitos analisados no estudo.

Science Performance	SGO-High	SGO-Mid	LAGRANGE/ McKenzie	OMEGA Option 1	OMEGA Option 2
Massive Black Hole Binaries					
Total detected	108–220	41–52	37–45	21–32	21–32
Detected at $z \geq 10$	3–57	1–4	1–5	1–6	1–6
Both mass errors $\leq 1\%$	67–171	18–42	8–25	11–26	11–26
One spin error $\leq 1\%$	49–130	11–27	3–11	7–18	7–18
Both spin errors $\leq 1\%$	1–17	<1	0	<1	<1
Distance error $\leq 3\%$	81–108	12–22	2–6	10–17	10–17
Sky location $\leq 1 \text{ deg}^2$	71–112	14–21	2–4	15–18	15–18
Sky location $\leq 0.1 \text{ deg}^2$	22–51	4–8	≤ 1	5–8	5–8
Total EMRIs detected [†]	800	35	20	15	15
WD binaries detected (resolved)	4×10^4	7×10^3	5×10^3	5×10^3	5×10^3
WD binaries with 3-D location	8×10^3	8×10^2	5×10^2	1.5×10^2	1.5×10^2
Stochastic Background Sensitivity (rel. to LISA)	1.0	0.2	0.15*	0.25	0.25
Top Team X Risk	Moderate [‡]	Low	Moderate	Moderate	High
Top Team X + Core Team Risk	Moderate [‡]	Low	High	High	High
Team X Cost Estimate (FY12\$)	2.1B	1.9B	1.6B	1.4B	1.2B

[†] Based on median rate; estimates for EMRI rates vary by as much as an order of magnitude in each direction.

* Two-arm instruments such as LAGRANGE/McKenzie lack the “GW null” channel that can be used to distinguish between stochastic backgrounds and instrumental noise, making such measurements more challenging.

[‡] The moderate risk for SGO High comes about from the thruster development necessary to demonstrate the required lifetime for 5 years of science operations.

Table 1. Summary of science return, risk, and cost for the mission concepts considered by Team X. SGO High science performance is the same as LISA. This table is repeated as Table 20 in Section 8 with additional explanation.

Fonte: JPL/NASA (2012).

Figura A.2 - Exemplo de apresentação dos aspectos de risco.

Option	Mass	Power	Cost	Risks
	(kg)	(W)		
LPF/LISA GRS	28 (32)	35 (41)	\$14M	Unexplained failure of LPF
ONERA GRS	7	5–10	\$7M	Performance or cost/power growth
LAGRANGE	42	35	\$35M	Inability to measure/model accelerations

Table 10. Mass, Power, Cost and Risks of Options Studied by Team X.

Fonte: JPL/NASA (2012).

Figura A.3 - Classificação dos riscos adotada pelo Team-X.

Risk Type	Team X	Phase	Outcome
	Proposal	Pre-A	Difficulty getting acceptance of the mission concept
Safety	Not used	A-F	Personnel-related hazards. Not really applicable for un-manned missions.
Cost	Implementation	A-D	Cost increases
Schedule	Implementation	A-D	Schedule increases, which is usually the same as cost. Schedule risks often have a ripple effect, impacting more than one program element.
Technical	Mission	A-D	Compromised technical performance.
Mission	Mission	E-F	Reduced science return. Not usually mitigated by additional investment.

Table 14. Summary of risk types and the effects on mission outcomes.

Fonte: JPL/NASA (2012).

A análise de risco foi realizada paralelamente pelo time do Team-X e pelo time principal de desenvolvimento do projeto utilizando uma matriz 5x5 (probabilidade e impacto). Os riscos foram consolidados e são apresentados na Figura A.4. O formato de “*risk findings*” também é utilizado para auxiliar a apresentação das informações de risco. A lista de riscos contendo o tipo de risco, descrição e avaliação (probabilidade e impacto) é apresentada em um apêndice do relatório (JPL/NASA, 2012), conforme extrato apresentado na Figura A.5.

Figura A.4 - Matriz 5x5 apresentando os riscos identificados.

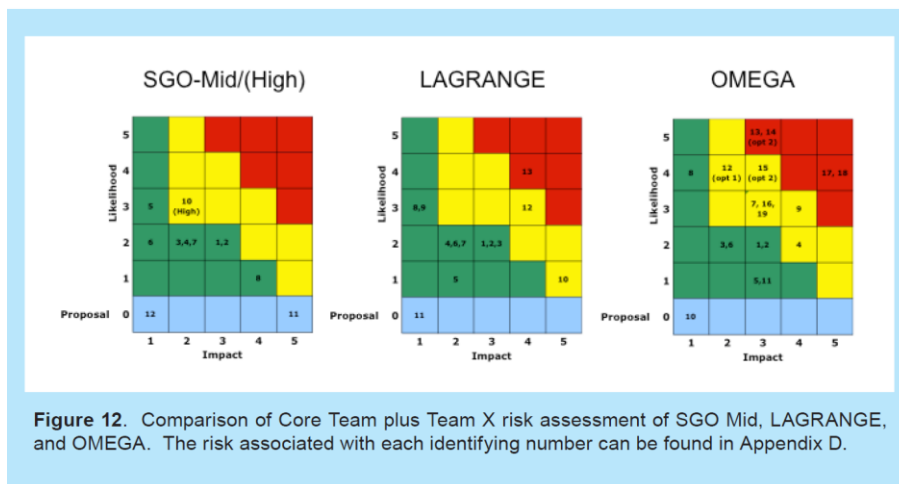


Figure 12. Comparison of Core Team plus Team X risk assessment of SGO Mid, LAGRANGE, and OMEGA. The risk associated with each identifying number can be found in Appendix D.

Fonte: JPL/NASA (2012).

Figura A.5 – Extrato da lista de riscos identificados.

Risk #	Submitter	Risk Type	Title	Description of Risk	Likelihood	Impact
1	Programmatics/Risk	Mission	Event rate risk for massive black hole binary mergers (risk re what exists in Nature)	Best estimate of event rate for detected massive black hole mergers is ~17/yr, but almost all of these are at redshift $z \gg 1$, and are based on poorly tested assumptions re event rate in early universe ($z > 7$). The true rate could be factor ~10 lower, so one might possibly detect only order 1 source. One would really want at least several (~3-5) detections to have confidence in them and GR tests derived from them.	2	3
2	Programmatics/Risk	Mission	Event rate for "extreme-mass-ratio-inspirals"	These are mostly inspirals ~10-solar-mass black holes into ~100 000 - 1000 000 solar-mass black holes in galactic nuclei. Current best estimate is that SGO-Mid will detect ~100/yr. However a pessimistic estimate of only order ~1/yr is not in conflict with known astronomy. At least a few events (~3-5) strongly desired to have confidence in the events and the corresponding tests of General Relativity.	2	3

Fonte: JPL/NASA (2012).

Alguns aspectos considerados importantes sobre a análise de risco do estudo *Gravitational-Wave Mission Concept* são listados abaixo:

- Não fica explícita a utilização da ferramenta RAP.
- O risco é uma disciplina transversal, assim, informações relacionadas ao risco estão presentes em todas as demais seções do documento, referentes as demais disciplinas.
- O risco é avaliado no sentido comparativo entre as opções de conceitos de missão analisadas no estudo.
- Algumas premissas utilizadas no estudo afetam a análise de risco no sentido de aversão ou favorecimento ao risco, limitando características como: considerar somente serviços de lançamento da NASA, margens de parâmetros de projeto (massa, potência) e estimativa de custo considerando as tecnologias em TRL6.

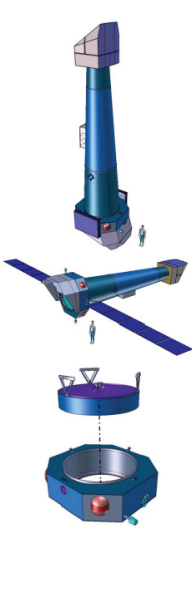
A.2 Disciplina risco em estudo do CDF: ATHENA

Esta Seção apresenta a visão do autor (desta Proposta de Tese) sobre a estruturação da disciplina risco no estudo ATHENA realizado pelo CDF em 2014 utilizando como referência o relatório final do estudo (CDF/ESA, 2014).

O estudo foi requisitado pelo *Advanced Payload and Mission Concepts Office* SRE-FM (parte do *Future Missions Office* – SRE-F) da ESA e foi selecionado para lançamento em 2028 pelo Programa *ESA's Cosmic Vision*. O estudo foi realizado com base em trabalhos já efetuados para esta missão e tem foco em alguns aspectos específicos. Portanto, os *trade-offs* realizados são relacionados a partes específicas do satélite e da missão. A configuração *baseline* do satélite considerado para o estudo é apresentado na Figura A.6.

Figura A.6 - Baseline do satélite considerado no estudo.

ATHENA Spacecraft	
Mass (incl. Margin)	Dry mass: 5477 kg
Dimensions	Height: 15 m
	Mirror diameter: 2570 mm Mirror effective area (1keV): 1.51 m ² 2 mm rib spacing
System	For: 60 % Pitch: ±34.5°
AOGNC	Sensors
	5 Star trackers
	2 Gyros 3 Sun sensors On-board Metrology System
	RCS: 22 x 1N thrusters for station keeping and fast target acquisition 4 x 22N thrusters for transfer manoeuvres 3 axis stabilized
Thermal	Mirror heaters (2,5 kW installed power, 20 ±1 °C)
	MLI around telescope tube Instrument radiators fitted on FPM Camera head instrument thermal link accomplished by heat pipes
Mechanisms	Moveable mirror using a hexapod Mirror Cover
	Venting mechanism at FMS Sun shield
Communications	1 High gain antenna 2 Low gain antennas
	x-band system
Data handling	512 Gbit on board storage for science data
	8 Gbit on board storage for HK data
Structure	CFRP structure
Propulsion	Telescope with 5 stray light baffles
	Propellant: Hydrazine 4 tanks: 530 kg propellant
Power	Fixed deployable solar array
	4.5 kW maximum consumed power Maximum time duration to survive on batteries: 2.4 h
Instruments	X-IFU
	WFI



Fonte: CDF/ESA (2014).

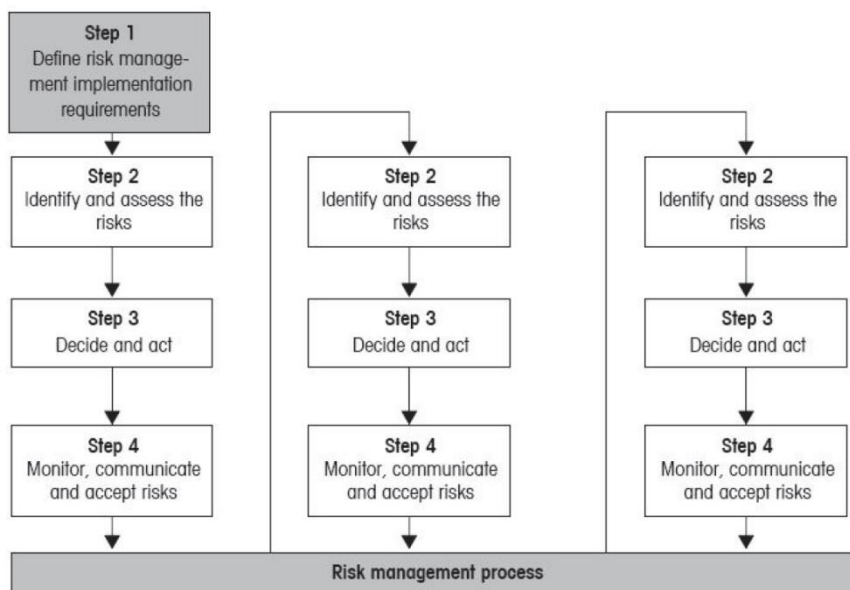
Ao longo da apresentação dos *trade-offs* realizados, algumas características de risco são avaliadas, como exemplo, para o *Instrument Swith Mechanism* (ISM), as características de herança, tolerância a falha e TRL são utilizados como

aspectos da disciplina risco para realização de comparações entre soluções de alternativas.

O relatório (CDF/ESA, 2014) apresenta uma Seção específica para apresentação dos riscos técnicos identificados no estudo. Nesta Seção é apresentada a definição e processo de gerenciamento de risco utilizada pela disciplina risco. O conceito apresentado é: gerenciamento de risco é um processo organizado e sistemático de tomada de decisão que eficientemente identifica, analisa, planeja, rastreia, controla, comunica e documenta riscos visando aumentar a probabilidade de atingir os objetivos (*goals*) do projeto.

O processo utilizado pela disciplina risco do CDF tem como base o processo de gerenciamento de risco definido pela (ECSS, 2008) e é apresentado na Figura A.7.

Figura A.7 - Processo de gerenciamento de risco adotado na disciplina risco do CDF.



Fonte: CDF/ESA (2014).

Seguindo o processo adotado no estudo Athena, o relatório (CDF/ESA, 2014) apresenta a política de gerenciamento de risco onde são definidos: os critérios de sucesso (para os domínios de ciência, técnico, cronograma e custo), categorização de severidade e probabilidade (conforme Figura A.8), a forma de apresentação do índice de risco na matriz 5x5 (combinação da probabilidade de

ocorrência e severidade de consequência, conforme Figura A.9) a política de aceitação de riscos (cinco magnitudes de risco foram consideradas para estudo e conjunto de ações para cada nível).

A classificação dos riscos é realizada e apresentada de acordo com as organizações responsáveis pelo desenvolvimento, neste estudo, ESA responsável pela missão, *Prime contractor* responsável pelo satélite e *Consortium* responsável pelos instrumentos. A Figura A.10 apresenta, como exemplo, os riscos identificados para a missão sob responsabilidade da ESA. Também é apresentado no relatório (CDF/ESA, 2014) a lista detalhada de riscos identificados, conforme extrato apresentado na Figura A.11.

Figura A.8 - Categorização de severidade e probabilidade para o estudo ATHENA.

Score	Severity	Science	Technical	Schedule	Cost
5	Catastrophic	Failure leading to the impossibility of fulfilling the mission's scientific objectives	Safety: Loss of life, life-threatening or permanently disabling injury or occupational illness; Severe detrimental environmental effects. Loss of system, launcher or launch facilities	Delay results in project cancellation	Cost increase result in project cancellation
4	Critical	Failure results in a major reduction (70-90%) of mission's science return	Safety: Major damage to flight systems, major damage to ground facilities; Major damage to public or private property; Temporarily disabling but not life-threatening injury, or temporary occupational illness; Major detrimental environmental effects Dependability: Loss of mission	Critical launch delay (24-48 months)	Critical increase in estimated cost (100-200 M€)
3	Major	Failure results in an important reduction (30-70%) of the mission's science return	Safety: Minor injury, minor disability, minor occupational illness. Minor system or environmental damage Dependability: Major degradation of the system	Major launch delay (6-24 months)	Major increase in estimated cost (40-100 M€)
2	Significant	Failure results in a substantial reduction (10-30%) of the mission's science return	Dependability: Minor degradation of system (e.g.: system is still able to control the consequences) Safety: Impact less than minor	Significant launch delay (3-6 months)	Significant increase in estimated cost (10-40 M€)
1	Minimum	No/ minimal consequences (<10% impact)	No/ minimal consequences	No/ minimal consequences (1-3 month delay)	No/ minimal consequences (<10 M€)

Score	Likelihood	Definition
E	Maximum	Certain to occur, will occur once or more times per project.
D	High	Will occur frequently , about 1 in 10 projects
C	Medium	Will occur sometimes , about 1 in 100 projects
B	Low	Will occur seldom , about 1 in 1000 projects
A	Minimum	Will almost never occur, 1 in 10000 projects

Fonte: CDF/ESA (2014)..

Figura A.9 - Representação dos índices de risco na matriz 5x5 e política de aceitação.

Likelihood		Severity				
E	E1	E2	E3	E4	E5	
D	D1	D2	D3	D4	D5	
C	C1	C2	C3	C4	C5	
B	B1	B2	B3	B4	B5	
A	A1	A2	A3	A4	A5	
		1	2	3	4	5

Risk Index	Risk magnitude	Proposed Actions (during assessment phase)
E4, E5, D5	Very High Risk	Unacceptable risk: implement mitigation actions (either likelihood reduction or severity reduction through new baseline) with appropriate party.
E3, D4, C5	High Risk	Unacceptable risk: see above.
E2, D3, C4, B5	Medium Risk	Unacceptable risk: implement mitigation actions with responsible party.
E1, D1, D2, C2, C3, B3, B4, A5	Low Risk	Acceptable risk: control, monitor.
C1, B1, A1, B2, A2, A3, A4	Very Low Risk	Acceptable risk: see above.

Fonte: CDF/ESA (2014).

Figura A.10 - Matriz 5x5 apresentando os riscos identificados para a missão ATHENA.

Mission Risk (ESA)					
Likelihood					
E			MI01		
D		MI09	MI02, M08, MI12 MI03, MI04, MI05, MI06, MI07	MI10	
C				MI11	
B			MI13, MI14		
A					
		1	2	3	4
					5
					Severity

Fonte: CDF/ESA (2014).

Figura A.11 - Extrato da lista detalhada de riscos.

#	RI	Class.	Risk	Cause	Cons.	Mitigation Actions (on-going)	Mitigation Option(s)
Mission Risk (ESA)							
MI01	E4	Technical	A5ECA/ME not available in 2028 timeframe, causing a re-definition of the mission to be compatible with A6 launcher.	Unavailability of A5 ECA/ME at the launch date (2028), due to retirement of A5 ECA/ME from service. Unknown A6 performance/fairing size may have impact on mission feasibility with current design.	[1] Imposition of the more mass constrained A6 as the baseline launch vehicle for ATHENA assessment phase. Latest info is a 12m fairing length is still OK, but mass performance reduced from 6.5t to 5.3t to L2 - so estimate 'critical' (TBC) effect on science. [2] A new development for an equivalent type of large custom adaptor for the A6.	[1] A5 ECA baseline and Atlas 500 backup imposed as applicable launch vehicles. Can be 'costless' to go to one of these solutions (could be a NASA contribution to ATHENA, within the stipulated 20% cap), but political dimension needs to be considered. [2] Investigation of A6 performance to L2, and alternative launch scenarios (apogee raising sequence, Lunar Gravity Assist) - to be reported in the CReMA.	[1] Twin A6 launch with (more-or-less) identical SC, one nominal instrument per SC [ref: A5 mitigation document, ATHENA-ESA-TN-0001]. [2] Reserve A5 ECA/ME for 2028 launch. Cost is TBD [ref: A5 mitigation document, ATHENA-ESA-TN-0001].

Fonte: CDF/ESA (2014).

O relatório apresenta uma Seção específica para trades de risco com relação ao ISM, que é o principal item avaliado quanto a diferentes opções de solução. O objetivo desta análise é comparar as diferentes opções identificadas quanto ao risco e os seguintes aspectos são considerados com pesos iguais: TRL, herança (em voo), tolerância a falha e probabilidade de falha (*fault avoidance*). A avaliação é realizada utilizando fatores de risco: r=5 (alto), r=2 (médio) e r=1 (baixo) para cada um dos aspectos considerados. Os fatores foram definidos de acordo com o julgamento de especialistas após consulta de especialistas da disciplina mecanismos.

Alguns aspectos considerados importantes sobre a análise de risco do estudo *ATHENA* são listados abaixo:

- O objetivo da análise de risco do *ATHENA* é gestão de riscos (exceto para o ISM, conforme Seção dedicada do relatório), diferentemente do exemplo apresentado realizado pelo Team-X, onde o objetivo principal é

a identificação de riscos para realizar comparações entre diferentes opções. Nota-se que as colunas da lista detalhada de risco apresentam informações como: causa e mitigações.

- Não fica explícita a utilização da ferramenta CERIS.
- O risco é uma disciplina transversal, assim, informações relacionadas ao risco estão presentes em todas as demais seções do documento, referentes as demais disciplinas.

O julgamento dos fatores de risco, para a análise comparativa de riscos realizada para o ISM, tem como base o julgamento de especialistas e é apresentado explicitamente. Entretanto, para o julgamento das componentes probabilidade de ocorrência e severidade, dos riscos identificados pelo processo de gerenciamento, não fica explícito qual abordagem é utilizada.