



## **ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3**

Giulia Ribeiro Herdies

Relatório de Iniciação Científica do programa  
PIBIC, orientado pelo PhD Nelson Jorge Schuch  
e co-orientado pelo Dr. Eduardo Escobar Bürger

UFSM  
Santa Maria  
2022



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

## **ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3**

Giulia Ribeiro Herdies

Relatório de Iniciação Científica do programa  
PIBIC, orientado pelo PhD Nelson Jorge Schuch  
e co orientado pelo Prof. Dr. Eduardo Escobar  
Bürger

UFSM  
Santa Maria  
2022

## RESUMO

Com o intuito de dar continuidade ao projeto “ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3” realizado no período de 2020-2021 em bolsa de IC&T PIBIC/INPE em parceria com a UFSM, o presente trabalho integra a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) nas fases iniciais de projeto conceitual do CubeSat NANOSATC-BR3. Este projeto faz parte do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, que abrange como um dos principais objetivos o desenvolvimento de capacitação de recursos humanos para o setor espacial brasileiro. Nos dias de hoje, o Programa acompanha dois nanossatélites em operação, o NANOSATC-BR1 e o NANOSATC-BR2. Assim como o NANOSATC-BR3, que atualmente presencia o final da sua fase conceitual. Como proposto previamente, o projeto tem como objetivo utilizar um software de MBSE com um método de Engenharia de Sistemas embutido na ferramenta. Durante o período de 2020 – 2022, através de entrevistas, foram analisadas necessidades e elaborados requisitos de pessoas interessadas (stakeholders need and requirements). Essas informações foram decompostas nos aspectos operacional, funcional, lógico e físico, na ferramenta, o que resultou na definição preliminar de uma solução de conceito viável derivada e rastreada até às necessidades dos stakeholders. MBSE prossegue se mostrando vital para o desenvolvimento da fase conceitual, visto a facilidade de realizar a validação com os stakeholders em comparação com o uso exclusivo de documentos. Por possuírem a característica de serem interativos, a Engenharia de Sistemas e o MBSE tornaram mais prático visualizar o projeto como um todo e adicionar novos stakeholders e, conseqüentemente, seus requisitos e necessidades. O presente trabalho apresenta a terceira iteração da fase, e forma-se a definição de missão com todas as entregas e informações necessárias para a realização da primeira revisão de projeto, MDR, do NANOSATC-BR3. O Programa e os Projetos contam com o apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB), Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## ABSTRACT

In order to continue the project "ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3" carried out in the period 2020-2021 on an IC&T PIBIC/INPE grant in partnership with UFSM, this work integrates Model-Based Systems Engineering (MBSE) in the initial conceptual design phases of the CubeSat NANOSATC-BR3. This project is part of the NANOSATC-BR Program, Development of CubeSats, which includes as one of its main objectives the development of human resources in the Brazilian space sector. Currently, the Program monitors two operating nanosatellites, the NANOSATC-BR1 and the NANOSATC-BR2. As well as the NANOSATC-BR3, which is currently witnessing the end of its conceptual phase. As previously proposed, the project aims to use MBSE software with a Systems Engineering method embedded in the tool. During the period 2020 – 2022, through interviews, stakeholders' needs and requirements were analyzed and elaborated. This information was broken down into operational, functional, logical and physical aspects in the tool, which resulted in the preliminary definition of a viable concept solution derived and traced back to the needs of stakeholders. MBSE continues to prove vital for the development of the conceptual phase, given the ease of carrying out validation with stakeholders compared to using documents exclusively. Because they have the characteristic of being interactive, Systems Engineering and MBSE made it more practical to visualize the project as a whole and add new stakeholders and, consequently, their requirements and needs. The present work presents the third iteration of the phase, and the mission definition is formed with all the deliveries and information necessary to carry out the first project review, MDR, of the NANOSATC-BR3. The Program and Projects have the support of the Brazilian Space Agency (AEB), Ministry of Science and Technology and Innovation (MCTI) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

## LISTA DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 1: Bibliometria para palavras chaves “MBSE” e "Satélite" no primeiro gráfico (A) e as palavras “CubeSat” ou “Nanosatellite” e “MBSE” para o segundo gráfico (B).	17
Figura 2: Ciclo de vida do relatório.	17
Figura 3: Modelo de ciclo de vida da NASA.	20
Figura 4: Processos de <i>SE Engine</i> .	22
Figura 5: Diagrama de <i>System Design Processes</i> .	23
Figura 6: Diagrama de fluxo do Processo de Expectativa dos Stakeholders.	24
Figura 7: Diagrama de fluxo da Definição de Requisitos.	25
Figura 8: Diagrama de fluxo da Decomposição Lógica.	26
Figura 9: Diagrama de fluxo da Definição de Solução de Design.	27
Figura 10: Principais Revisões no Tempo de Desenvolvimento.	28
Figura 11: Modelo ciclo de vida da NASA em forma de modelo em “V”.	31
Figura 12: Fases do Modelo Arcadia.	33
Figura 13: NanosatC-BR 1 [a] e o NanosatC-BR 2 [b].	34
Figura 14: Representação da metodologia.	39
Figura 15: Stakeholders no projeto NCBR3, as setas azuis indicam interação passiva ao sistema e as setas pretas indicam interação ativa ao sistema proposto.	43
Figura 16: Work Breakdown Structure (WBS) do projeto NCBR3.	49
Figura 17: Capacidades Operacionais (OCB) para o NCBR3.	55
Figura 18: Interação de Atividades Operacionais (OAIB) para o NCBR3.	56

	<b><u>Pág.</u></b>
Figura 19: Arquitetura Operacional (OAB) para o NCBR3.	58
Figura 20: Simulação 2D do NCBR1 no STK.	60
Figura 21: Arquitetura Sistêmica (SAB) para o NCBR3.	63
Figura 22: Arquitetura Lógica (LAB) para o NCBR3.	64
Figura 23: ConOps do NCBR3.	66
Figura 24: Physical Data Flow (PCBD) para o NCBR3.	68
Figura 25: Arquitetura Física (PAB) para o NCBR3.	69
Figura 26: Cronograma do Projeto NCBR3 em que cada linha vertical representa 2 meses.	70

## LISTA DE TABELAS

	<b><u>Pág.</u></b>
Tabela 1: Principais contribuições de cada referência bibliográfica.	37
Tabela 2: Stakeholders e suas capacidades operacionais desejadas.	44
Tabela 3: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Científica do NCB3.	45
Tabela 4: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Tecnológica do NCB3.	46
Tabela 5: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Educacional do NCB3.	46
Tabela 6: Medidas de efetividade para as Atividades Operacionais do NCB3.	47
Tabela 7: Necessidades dos Stakeholders.	49
Tabela 8: Balanço preliminar de potência e comunicação.	61
Tabela 9: Entregáveis realizados/auxiliados pela MBSE da MDR do NCB3.	73



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCS – Subsistema de Determinação e Controle de Atitude  
AEB – Agência Espacial Brasileira  
AMAS – Anomalia Magnética da América do Sul  
ARCML – ARCADIA Modeling Language  
CDR – Revisão Crítica do Projeto (em inglês: *Critical Design Review*)  
COENE – Coordenação Espacial do Nordeste  
COESU – Coordenação Espacial do Sul  
ConOps – *Concept of Operations*  
CNES – Agência Espacial da França  
CNSA – Administração Nacional Espacial da China  
DR/DRR – Revisão de Desativação (em inglês: *Decommissioning/Disposal Readiness Review*)  
EDC – *Environmental Data Collector*  
EPS – Subsistema de Potência  
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos  
GS – Estação Terrena (em inglês: *Ground Station*)  
IARU – *The International Amateur Radio Union*  
IC&T – Iniciação Científica e Tecnológica  
INCOSE – Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
LAB – Arquitetura Lógica (em inglês: *Logical Architecture*)  
LABRE – Amadores Brasileiros de Rádio Emissão  
MBSE – Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos

MCR – Revisão do Conceito da Missão (em inglês: *Mission Concept Review*)  
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações  
MDR – *Mission Definition Review*  
MoEs – Medida de Efetividade  
NASA – Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço  
NCBR1 – NanosatC-BR1  
NCBR2 – NanosatC-BR2  
NCBR3 – NanosatC-BR3  
NGO – Requisitos, Objetivos e Metas  
OAB – Arquitetura Operacional (em inglês: *Operational Architecture*)  
OAIB – Atividades Operacionais (em inglês: *Operational Activity Interaction*)  
OBDH ou OBC – Comando e Manipulação de Dados  
OCB – Capacidades Operacionais (em inglês: *Operational Capabilities*)  
OPM – *Object Process Methodology*  
ORR – Revisão Operacional (em inglês: *Operational Readiness Review*)  
PAB – Arquitetura Física (em inglês: *Physical Architecture* )  
PDFB – *Physical Data Flow*  
PDR – Revisão Preliminar do Projeto (em inglês: *Preliminary Design Review*)  
PIBIC – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica  
POD – *Picosatellite Orbital Deployer*  
RID – *Review Item Discrepancy*  
SAB – Arquitetura de Sistema (em inglês: *System Architecture*)  
SE – Engenharia de Sistemas  
SICINPE – Seminário de Iniciação Científica e Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação  
SIR – Revisão de Integração do Sistema (em inglês: *System Integration Review*)

SOW – *Statement of Work*

SRR – Revisão de Requisitos do Sistemas (*System Requirements Review*)

STK – *System Tool Kit*

STR – Subsistema de Estrutura

TECAMB – Micro e Nanotecnologia de Cerâmicas e Compósitos

TT&C ou Comm – Subsistema de Comunicação

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

USRA – União Santamariense de Radioamadores

WBS – Estrutura de Detalhamento do Produto ( do inglês: *Work Breakdown Structure*)

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Objetivos Gerais</b>	<b>15</b>
1.1.1 Objetivos Específicos	15
<b>1.2 Justificativa</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Organização do Projeto</b>	<b>17</b>
<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>18</b>
2.1 Processo da NASA	18
2.1.1 Ciclo de vida da NASA	18
2.1.2 Mecanismo de Engenharia de Sistemas	20
2.1.3 Revisões de Projetos	26
2.2 Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos	29
2.3 Programa NanosatC-BR	32
2.3.1 NANOSATC-BR3	33
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>34</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>
<b>MBSE APLICADO AO NANOSAT-BR3</b>	<b>40</b>
5.1 Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades	40
5.2 Modelagem da Camada Operacional	51
5.3 Análise de Missão	57
5.4 Modelagem da Camada Sistêmica	60
5.5 Modelagem da Camada Lógica	62
5.6 Análise de Conceito	63
5.7 Modelagem da Camada Física	65

<b>DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>73</b>
7.1 Publicações e Apresentações	75
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início de sua criação, o CubeSat mostra-se um grande aliado quando se trata de capacitação de recursos humanos por ser um satélite de pequeno porte e menor complexidade, custos e tempo de desenvolvimento que os satélites maiores. Com esse objetivo em mente, o programa “NanosatC-BR, Desenvolvimento de CubeSats” lançou dois nanosatélites dessa classe, o NANOSATC-BR1 (NCBR1) e o NANOSATC-BR2 (NCBR2), partindo agora para o terceiro CubeSat do programa, o NANOSATC-BR3 (NCBR3).

O NCBR3, principal tópico deste trabalho, está sendo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através da Coordenação Espacial Sul (COESU) em colaboração com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com o apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB). Atualmente, o nanosatélite se encontra na fase conceitual de desenvolvimento, isto é, finalizando a Pré-Fase A e iniciando a Fase A, indicadas pelo ciclo de vida da NASA. Para a finalização de cada fase, a NASA (2017) indica uma revisão de projeto a ser concluída, no entanto, em projetos de menor complexidade como esse, é recomendado unir as primeiras revisões em uma só. Sendo assim, para o NCBR3, será realizada apenas uma revisão de projeto, a *Mission Definition Review* (MDR), para a finalização das duas fases citadas.

Normalmente, tanto o desenvolvimento do projeto de um CubeSat, quanto a produção de uma MDR são realizadas centradas em documentos, isto é, a informação é armazenada e gerenciada por meio de diversos documentos diferentes. No entanto, foi observado durante o desenvolvimento do NCBR2, que apenas o uso de documentos causavam ambiguidades, algumas inconsistências no Projeto, dificuldades de controle de configuração, além de não permitir a rastreabilidade de requisitos e de realizar uma análise do impacto de mudanças.

Portanto, o objetivo deste trabalho é aplicar a Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) por meio de metodologia de engenharia de sistemas para dar o primeiro passo para a transição do Projeto de “centrado em documentos” para “centrado em modelos”.

## 1.1 Objetivos Gerais

O objetivo do trabalho é dar continuidade à pesquisa iniciada no Projeto de IC&T da bolsa PIBIC/INPE no período 2020-2021, que tem o intuito de realizar a implementação da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) no Projeto NCBR3. O trabalho tem o objetivo de utilizar a modelagem de engenharia de sistemas para apoiar no desenvolvimento dos entregáveis da primeira revisão de Projeto, a MDR (*Mission Definition Review*), e a finalização das duas primeiras fases propostas de acordo com modelo de ciclo de vida da NASA .

### 1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Validação final de necessidades de stakeholders e desenvolvimento de Requisitos de missão;
- Finalização da Pré-fase A - Estudo de Conceito e início da Fase A - Conceito e Desenvolvimento Tecnológico;
- Aprendizado da ferramenta de MBSE em nível intermediário;
- Modelagem da camada sistêmica, lógica e física (MBSE) do nanossatélite;
- Análise dos requisitos de missão e desenvolvimento de arquitetura de missão;
- Obtenção de um baseline funcional sistêmico;
- Obtenção de requisitos de sistema preliminares;

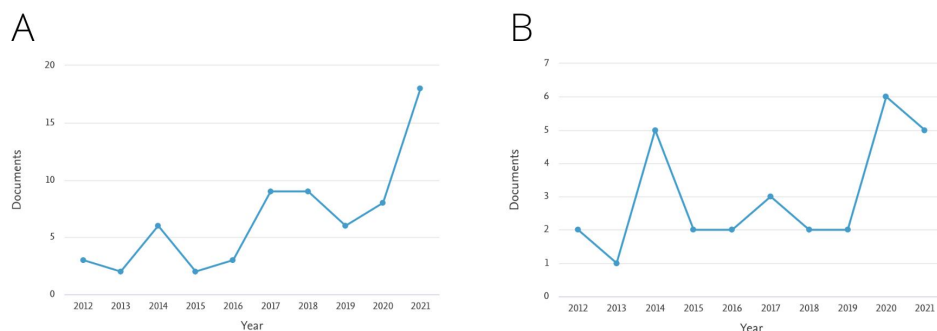
- Geração de conceito(s) que atendam aos requisitos e restrições;
- Apoio à preparação de informações para a MDR com o uso de MBSE;
- Redação de artigo para periódico científico nacional e/ou internacional ou apresentação em congresso nacional/internacional.

## 1.2 Justificativa

Com o passar dos anos, produtos espaciais têm se tornado cada vez menores e mais complexos, isso inclui satélites artificiais. Logo, torna-se necessário o uso de abordagens que acompanhem a evolução do desenvolvimento de satélites. Normalmente, satélites são desenvolvidos centrados em documentos, no entanto, como podemos observar na Figura 1A, a partir de 2012 há um aumento no uso de MBSE para essa finalidade. Isso ocorre porque o MBSE tem o potencial de solucionar problemas referentes a diferentes interpretações causadas pelo uso de linguagem escrita com o seu formato centrado em modelos (Bürger, 2018). De forma semelhante, uma MDR também é realizada através de uma abordagem *document-centric*. Entretanto, realizar a revisão com uma abordagem *model-centric* tem o potencial de trazer diversos benefícios, como por exemplo, a rastreabilidade do Projeto. Na Figura 1B, temos uma bibliometria mais específica de palavras chaves do atual trabalho. Pode-se notar que o MBSE em nanosatélites ainda são relativamente novos para o mundo acadêmico, mesmo apresentando um enorme potencial que serão discutidos no trabalho.



Figura 1: Bibliometria para palavras chaves “MBSE” e "Satélite" no primeiro gráfico (A) e as palavras “CubeSat” ou “Nanosatellite” e “MBSE” para o segundo gráfico (B).

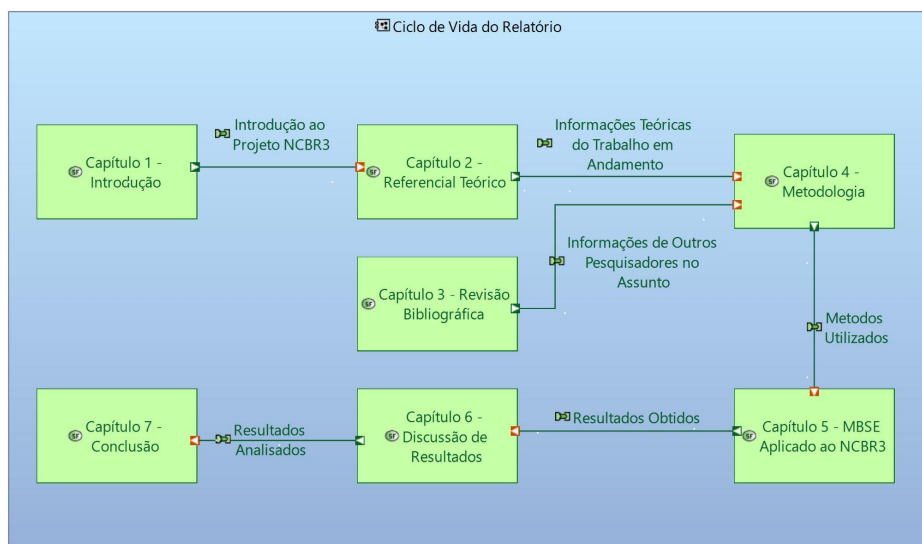


Fonte: SCOPUS, 2021.

### 1.3 Organização do Projeto

O presente trabalho será organizado conforme a Figura 2.

Figura 2: Ciclo de vida do relatório.



Fonte: Produzido pelos autores.

O capítulo 1 aborda a introdução, os objetivos e a justificativa do Projeto. No cap 2 será feito um referencial teórico, introduzindo os principais tópicos relacionados ao Projeto. Já no capítulo 3 apresentará trabalhos relevantes da área e que contribuem com o desenvolvimento deste. A metodologia do trabalho será descrita no capítulo 4, os resultados no capítulo 5 e as discussões de resultado no capítulo 6. Por fim, no capítulo 7, conterà as conclusões.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta etapa destina-se a estabelecer as bases conceituais acerca do trabalho a ser realizado, e contará como fonte principal os livros tradicionais sobre engenharia de sistemas com base no modelo da NASA, engenharia de sistemas baseada em modelos e o programa “NanosatC-BR, Desenvolvimento de CubeSats”. Assim como, dar continuidade ao projeto “ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3” realizado no período de 2020-2021 em bolsa de IC&T PIBIC/INPE em parceria com a UFSM.

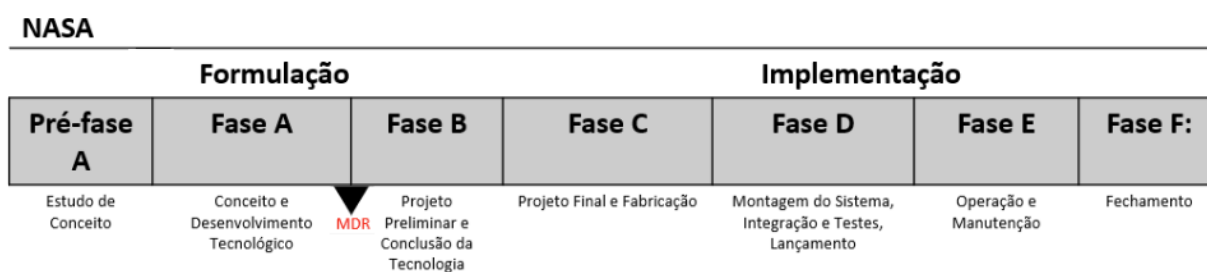
### **2.1 Processo da NASA**

Durante o período de 2020-2021 foi predefinido o modelo de engenharia de sistema que o desenvolvimento do projeto NANOSATC-BR3 seguiria, sendo este o “NASA Program/Project Life Cycle”, ou como referimos em português, o Ciclo de vida da NASA. Conforme a NASA (2017), este modelo tem o intuito de estabelecer um programa com uma boa relação custo-benefício que seja comprovadamente capaz de cumprir as metas e objetivos da agência e da diretoria da missão, e executar o programa e os projetos constituintes dentro das restrições de financiamento.

#### **2.1.1 Ciclo de vida da NASA**

O ciclo de vida da NASA contém 7 fases que organizam todo o processo em partes mais gerenciáveis. As fases do ciclo de vida do projeto são a Pré-Fase A: Estudo de Conceito, Fase A: Conceito e Desenvolvimento Tecnológico, Fase B: Projeto Preliminar e Conclusão da Tecnologia, Fase C: Projeto Final e Fabricação, Fase D: Montagem do Sistema, Integração e Testes, e Lançamento, Fase E: Operação e Manutenção e a Fase F: Fechamento. Estas fases são divididas em Formulação e Implementação como pode ser observada Figura 3.

Figura 3: Modelo de ciclo de vida da NASA.



Fonte: Adaptado da NASA (2017).

Segundo a NASA (2017), o principal objetivo da Pré-Fase A é produzir um vasto espectro de ideias e alternativas para missões a partir das quais novos programas e projetos podem ser selecionados. A fase desenvolve um conjunto preliminar de opções como um produto de entrada para a *Mission Definition Review* (MDR). Nela inclui opções de escopo, que são elaboradas durante a formação dos Requisitos, Objetivos e Metas (NGOs) e do Concept of Operations (ConOps) preliminar do projeto.

A Fase A tem como principal objetivo desenvolver uma proposta de missão que seja confiável e responsiva às expectativas, requisitos e restrições do programa no projeto incluindo recursos. Esta etapa abrange revisar e atualizar os documentos e modelos elaborados na Pré-Fase A. Assim como a demarcação da *Work Breakdown Structure* (WBS), criação do *Statement of Work* (SOW), e a produção e definição dos requisitos e restrições de nível superior. Isso inclui, interfaces internas e externas, logística integrada e suporte de manutenção e funcionalidade de software do sistema.

Dando continuidade às fases anteriores, a Fase B propõe desenvolver os requisitos do sistema estrutural final do produto e gerar um escopo preliminar de cada um deles. A fase

engloba o desenvolvimento de escopos preliminares, planos de operação com base no ConOps, plano de segurança e planos preliminares de avaliação de detritos orbitais, de desativação e de descarte. Assim como, relatar os resultados obtidos no desenvolvimento tecnológico, estimar um cronograma, atualizar o orçamento e possíveis riscos, e aprimorar modelos e protótipos usados nas avaliações.

Já na Fase C se espera completar e documentar os detalhes do projeto que correlaciona os requisitos detalhados nas fases anteriores. A fase inclui a fabricação e codificação do produto.

A montagem, integração, testes, validação e lançamento do sistema ocorrem durante a Fase D do ciclo de vida da NASA. Nesta fase, também é esperado a atualização dos procedimentos operacionais, ensaios e planejamento da logística.

Após o lançamento, inicia a Fase E que corresponde a condução da missão conforme as necessidades iniciais identificadas e manutenção do sistema.

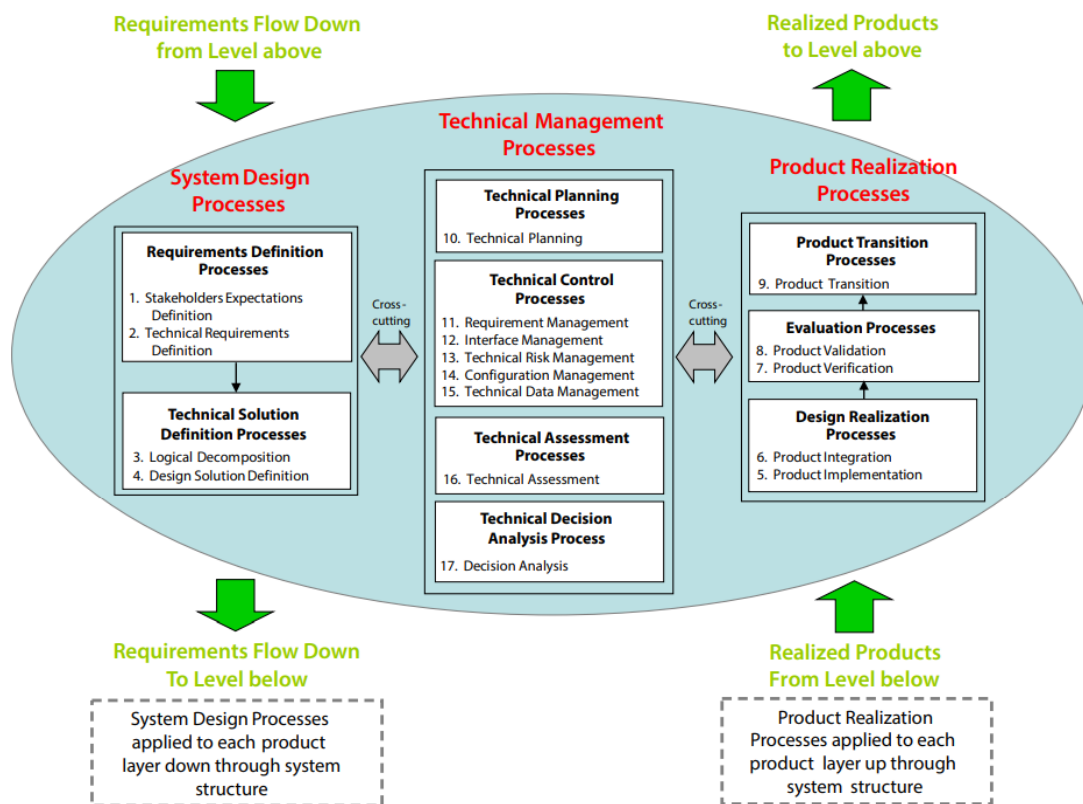
Por fim, a Fase F tem o objetivo de implementar plano de descomissionamento, descarte e realizar análises de dados para a finalização da missão.

Atualmente o projeto NCBR3 se encontra tanto na Pré-Fase A, quanto na Fase A. Considerando que a Pré-Fase A já está praticamente consolidada.

### **2.1.2 Mecanismo de Engenharia de Sistemas**

O mecanismo de engenharia de sistemas, ou *SE Engine* em inglês, é descrito pela NASA (2017) como a ilustração dos três processos técnicos, sendo eles os Processos de Projeto de Sistema, Processos de Gestão Técnica e Processos de Realização do Produto. Esses processos de *SE Engine* (Figura 4) são usados para o desenvolvimento e realização do produto final.

Figura 4: Processos de *SE Engine*.



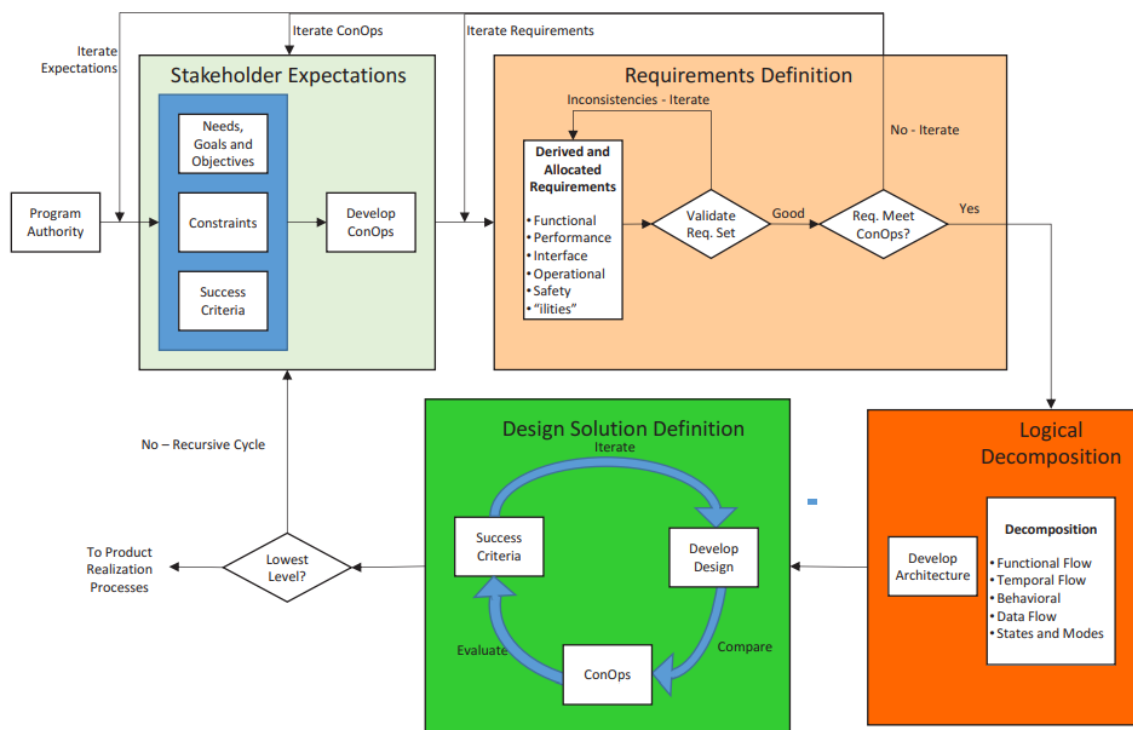
Fonte: NASA (2017).

Conforme a NASA (2017), esses processos são aplicados da Pré-Fase A até a Fase C do ciclo de vida. Na Pré-Fase A, a *SE Engine* tem como foco desenvolver o conceito inicial do projeto, incluindo cenários para cada situação operacional. NASA (2014), aborda a importância de um ConOps inicial nesta fase, visto que a partir dele é possível realizar a verificação de requisitos conflitantes ou ausentes durante o desenvolvimento do Projeto.

O uso da *SE Engine* continua na Fase A, nesta fase os conceitos e requisitos aumentam o nível de abstração comparados com a fase anterior garantindo que sejam bons.

O primeiro processo da *SE Engine*, o Processos de Projeto de Sistema, ou *System Design Processes* em inglês, é o mais importante para esta primeira parte do Projeto. Isso ocorre, pois são usados como base e para definir expectativas dos stakeholders, validar requisitos e desenvolver soluções de conceito. Na Figura 5 é possível identificar e relacionar os quatro processos de projeto de sistema: Expectativa de Stakeholder, Definição de Requisitos, Decomposição Lógica e Definição de Solução de Design.

Figura 5: Diagrama de *System Design Processes*.

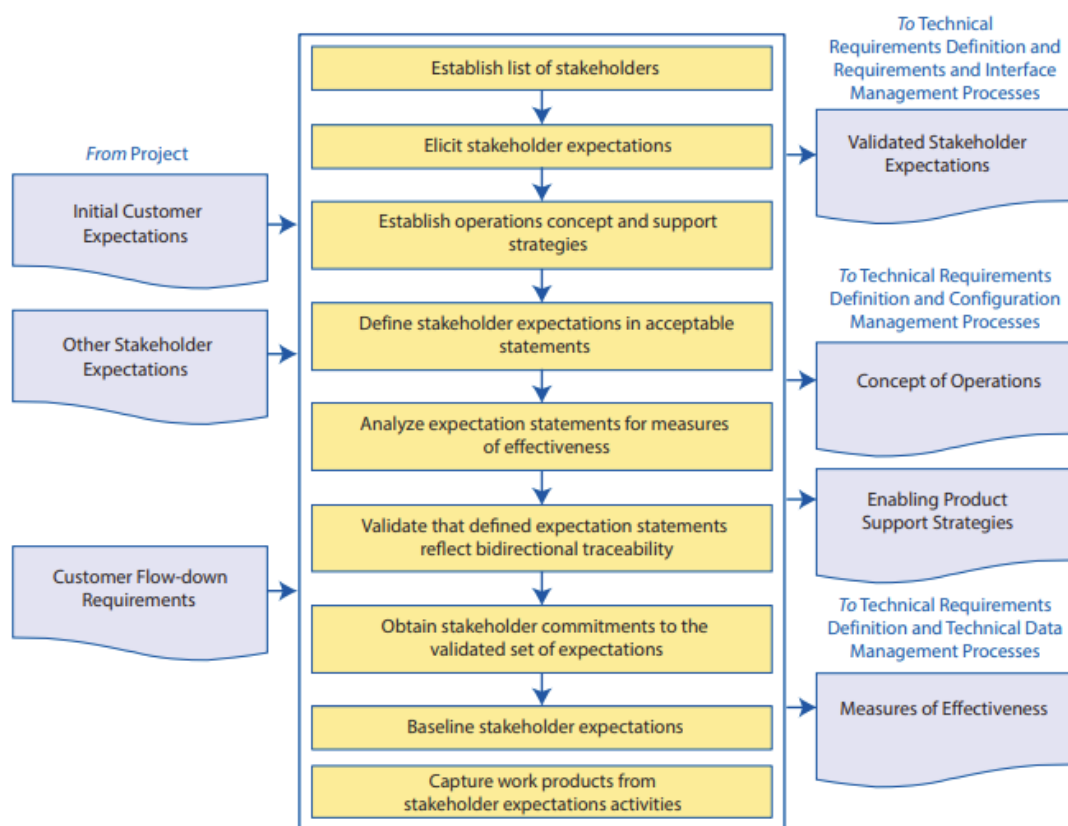


Fonte: NASA (2017).

Durante a Pré-Fase A, o foco dos processos é em produzir um protótipo de design que eventualmente será aprovado. Já na Fase A, os processos focam em otimizar a arquitetura de design através de projetos alternativos e maturidade analítica.

O primeiro processo dos *System Design Processes*, Expectativa dos Stakeholders, estabelece a base da qual o sistema será projetado e o produto será realizado. A Figura 6 identifica entradas, saídas e atividades típicas a serem consideradas na definição das expectativas dos stakeholders (NASA, 2017).

Figura 6: Diagrama de fluxo do Processo de Expectativa dos Stakeholders.

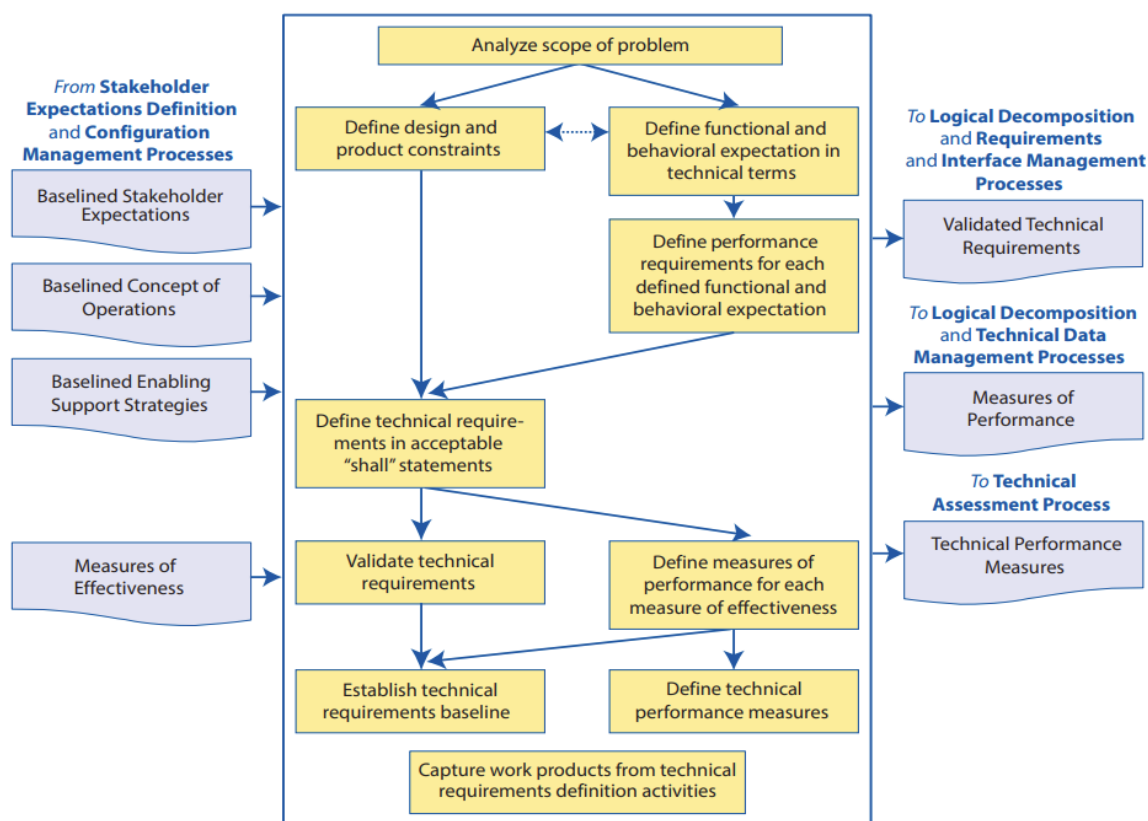


Fonte: NASA (2017).



O segundo processo, Definição de Requisitos, tem o intuito de transformar as expectativas dos stakeholders em uma definição do problema, e estas em conjunto de requisitos técnicos que podem ser usados para definir uma solução de design para a Estrutura de Detalhamento do Produto (WBS). A Figura 7, apresenta as entradas, saídas e atividades típicas a serem consideradas na definição desse processo.

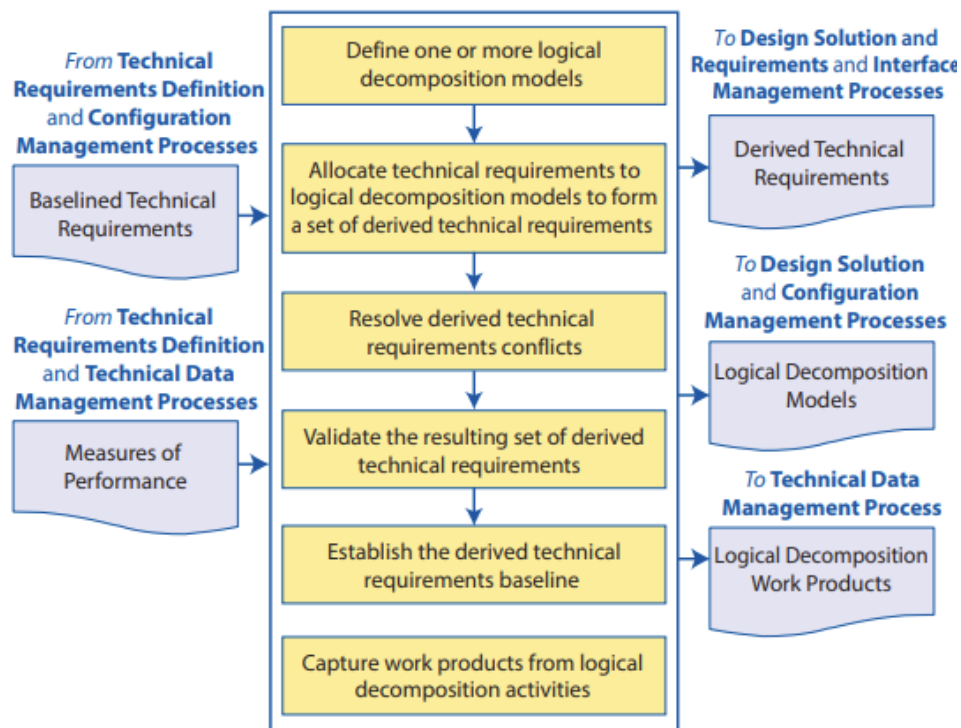
Figura 7: Diagrama de fluxo da Definição de Requisitos.



Fonte: NASA (2017).

O terceiro processo, conhecido como Decomposição Lógica, identifica os requisitos funcionais permitindo que os programas e projetos da NASA atendam às expectativas dos stakeholders. As entradas, saídas e atividades típicas a serem consideradas na definição desse processo são apresentadas na Figura 8.

Figura 8: Diagrama de fluxo da Decomposição Lógica.

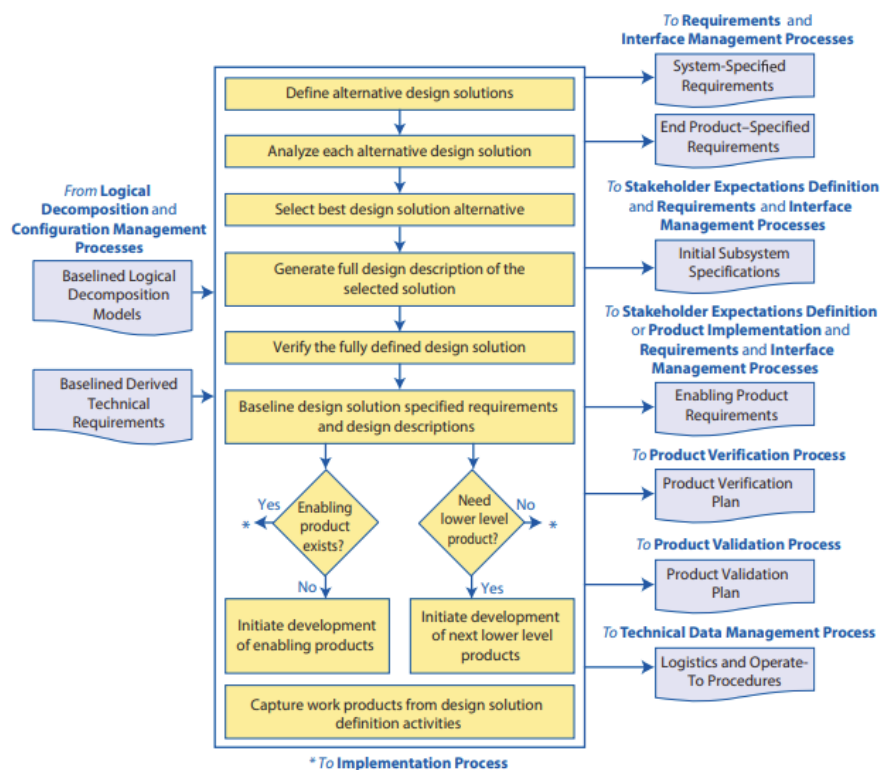


Fonte: NASA (2017).

Por fim, o último processo do *System Design Processes* é a Definição de Solução do Design. Esse processo traduz os requisitos de alto nível derivados das expectativas de stakeholders e os resultados do processo de decomposição lógica em uma solução de design. A

Figura 9 apresenta as entradas, saídas e atividades típicas a serem consideradas na definição do último processo.

Figura 9: Diagrama de fluxo da Definição de Solução de Design.



Fonte: NASA (2017).

### 2.1.3 Revisões de Projetos

Revisões de projetos tem o objetivo de providenciar a visibilidade do progresso técnico do projeto e dos riscos em relação aos planos técnicos (NASA, 2007). Essa visibilidade contribui para que tendências disruptivas sejam reconhecidas e soluções preventivas ou ações

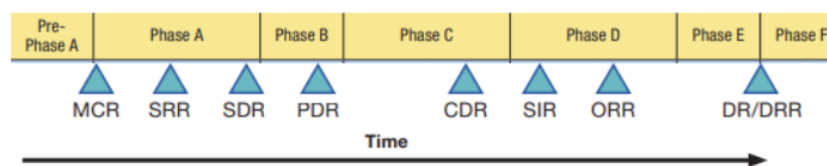
corretivas sejam colocadas em prática pelo time do Projeto. Fazem parte de uma revisão de projeto a preparação e a condução da revisão com auditorias para monitorar o desempenho (INCOSE 2010). Essas revisões normalmente são grandes reuniões, que podem ser divididas em reuniões menores, nas quais análises detalhadas do Projeto ocorrem, incluindo comentários e respostas referente a documentação, modelos, análises e dados de teste (NASA 2011).

No ciclo de vida da NASA é listado diversas revisões de projeto, sendo as principais:

- MCR: Revisão do Conceito da Missão (*Mission Concept Review*);
- SRR: Revisão de Requisitos do Sistemas (*System Requirements Review*);
- SDR ou MDR: Revisão da Definição do Systema/Missão (*System/Mission Definition Review*);
- PDR: Revisão Preliminar do Projeto (*Preliminary Design Review*);
- CDR: Revisão Crítica do Projeto (*Critical Design Review*);
- SIR: Revisão de Integração do Sistema (*System Integration Review*);
- ORR: Revisão Operacional (*Operational Readiness Review*);
- DR/DRR: Revisão de Desativação (*Decommissioning/ Disposal Readiness Review*).

A Figura 10 apresenta as principais revisões no tempo de desenvolvimento, assim como as fases nas quais elas fazem parte.

Figura 10: Principais Revisões no Tempo de Desenvolvimento.



Fonte: NASA (2017).

Em Projetos menores, como é o caso do NCBR3, NASA (2017) indica unificar as três primeiras revisões em uma só, incluindo aspectos importantes de cada uma. Para validação da atual missão e continuidade da mesma, irá ser realizado apenas a MDR, que consiste em uma apresentação à revisores externos ao Projeto, com o intuito de receber visibilidade e, conseqüentemente, realizar modificações solicitada no RID (*review item discrepancy*), documento formal entregue pelos revisores, aos desenvolvedores do projeto com os os itens que devem ser ajustados, corrigidos ou refeitos para posterior reavaliação da banca e aprovação do RID.

Segundo a NASA (2017), o MDR é realizado durante a fase de desenvolvimento do conceito (Fase A) antes da transição da Fase A para a Fase B e do início do projeto preliminar. A revisão examina os requisitos propostos, a arquitetura da missão e o fluxo para todos os elementos funcionais da missão para garantir que o conceito geral seja completo, viável e consistente com os recursos disponíveis.

Nesta revisão são necessários os seguintes itens conforme a NASA (2017) :

- Metas e Objetivos da Missão;
- Análise de Conceitos;
- Conceito de Operação;
- Opções preliminares de missão;
- Avaliação preliminar de riscos;
- Medida de Efetividade (MoEs) definidos;
- Estratégias conceituais de suporte ao ciclo de vida
- Cronograma Preliminar;
- Arquitetura do Sistema;
- Documento de requisitos do sistema;
- Descrição da funcionalidade do software do sistema;

- Alocação preliminar de requisitos do sistema para o próximo sistema de nível inferior;
- Estimativa de custo;
- Plano de Avaliação da Maturidade do Desenvolvimento Tecnológico;
- Definição de solução de sistema preferencial;
- Plano de Desenvolvimento de Software (SDP);
- Plano de gerenciamento de configuração;
- Plano de gerenciamento do projeto;
- WBS;
- RIDs.

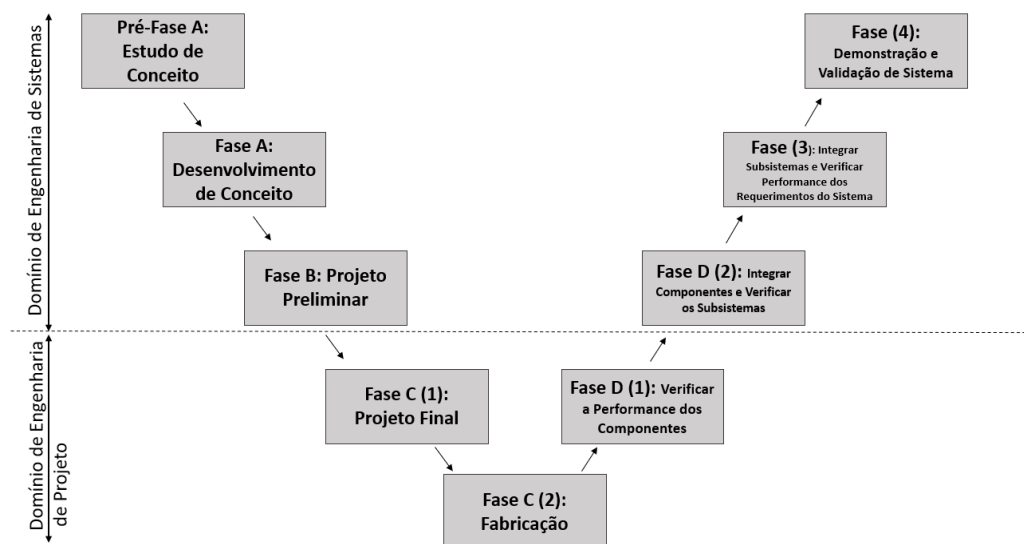
## **2.2 Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos**

A Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE) é uma aplicação formalizada de modelagem de Engenharia de Sistemas que enfatiza a aplicação de princípios rigorosos de modelagem de arquitetura e melhores práticas para atividades de Engenharia de Sistemas em todo o Ciclo de Vida de Desenvolvimento de Sistemas (MBSE Works™, 2020). A Engenharia de Sistemas por sua vez é uma abordagem de sistemas lógicos realizada por equipes multidisciplinares para projetar e integrar os sistemas para garantir que o produto final atenda às necessidades das pessoas interessadas (NASA, 2017).

Implementar MBSE em um projeto tem como finalidade aprimorar as principais capacidades e processos científicos de engenharia, gerenciamento e ciência para garantir a segurança e o sucesso da missão, aumentar desempenho e reduzir custos. Assim como, fornece uma forma eficiente de criar um protótipo, explicar e comunicar aspecto do sistema virtualmente, reduzindo as possíveis ambiguidades linguísticas e a dependência de documentos tradicionais (LEFFINGWELL, 2020).

Atividades de Engenharia de Sistemas incluem, análise de requisitos, análise funcional, análise de desempenho, projeto de sistema, estudos comerciais, especificação de arquitetura de sistema e Verificação e Validação de sistema (demonstrado na Figura 11) que associam com o desenvolvimento de sistemas complexos.

Figura 11: Modelo ciclo de vida da NASA em forma de modelo em “V”.



Fonte: Produzido pelos autores.

Segundo Delligatti (2014), MBSE depende de três pilares, sendo elas a linguagem, a ferramenta e o método. A linguagem de modelagem se refere a um conjunto de regras que padroniza os conceitos de notações gráficas, sintaxe e semântica. As ferramentas de modelagem, tal como o software Capella, garante a construção do modelo de sistema de forma consistente seguindo o modelo proposto. Já a metodologia de modelagem é um acoplado de processos que seguem como base para as disciplinas de engenharia de sistemas em um contexto "baseado em modelo" ou "conduzido por modelo".

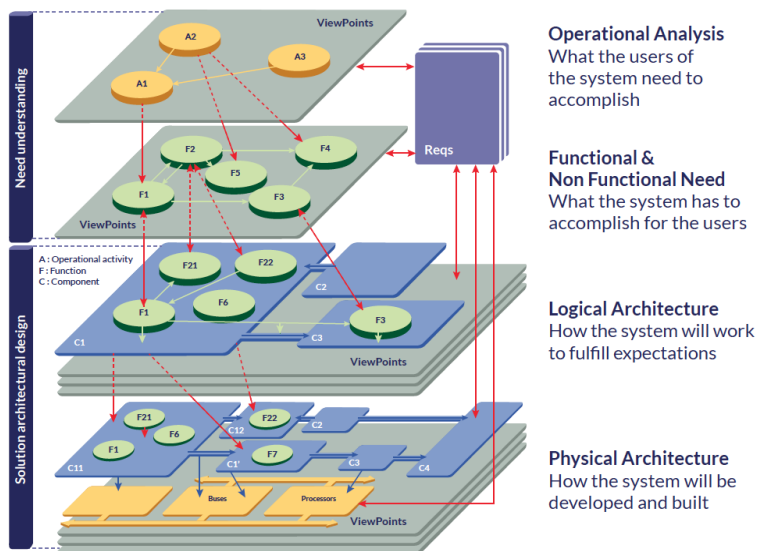
### 2.2.1 Capella

O Capella é uma ferramenta de MBSE no qual impõe uma abordagem estruturada em diferentes perspectivas de engenharia, estabelecendo uma separação clara entre o contexto do sistema e a modelagem de necessidade e modelagem de solução. Embutida nele está a metodologia e linguagem Arcadia. O método em questão é dividido em camadas, sendo elas a análise de necessidades operacionais, análise sistêmica, arquitetura lógica e arquitetura física, como mostra a Figura 12.

Com base em ROQUES (2018) na metodologia do software, a primeira camada descreve as expectativas do usuário final, as condições de uso e as condições realistas de integração, verificação e validação. Já a segunda camada, a análise sistêmica, aloca funções ao sistema ou atores. A arquitetura lógica, terceira camada, demonstra como o sistema irá funcionar de forma lógica. Esta camada inclui consistência funcional, interfaces, desempenhos, tempo real, segurança, proteção, integração, reutilização, custo, risco, cronograma e a facilidade de adaptação. A última camada, arquitetura física, em conjunto com todas as etapas anteriores, tem como objetivo solidificar como o sistema será desenvolvido e montado.



Figura 12: Fases do Modelo Arcadia.



Fonte: ROQUES, 2018.

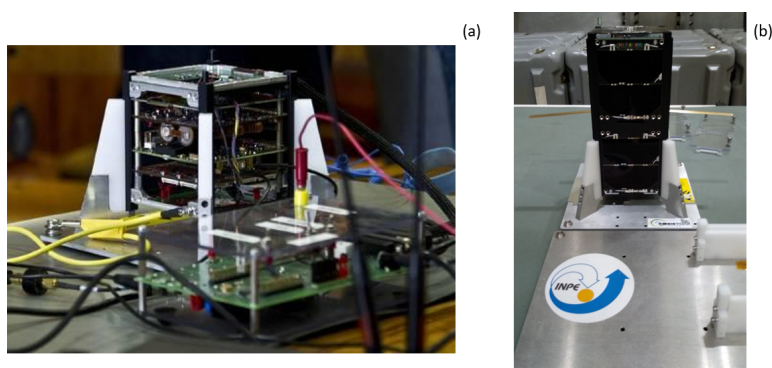
### 2.3 Programa NanosatC-BR

Em 2008, com o intuito de gerar capacitação de recursos humanos para a área espacial, a Coordenação Espacial do Sul - COESU/INPE, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE / MCTI), deu início ao programa “NanosatC-BR, Desenvolvimento de CubeSats” (SCHUCH, 2019). Em conjunto com a participação de alunos de graduação da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e alunos de pós-graduação do INPE, o programa possui como missão científica o estudo de distúrbios na magnetosfera, especialmente na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, e do setor brasileiro do Eletrojato Equatorial Ionosférico. A missão tecnológica proposta para o programa é de gerar capacitação das instituições nacionais que participam da Missão, promovendo o desenvolvimento das áreas de

ciências, engenharias e tecnologias espaciais. Essa missão inclui também a qualificação no espaço de circuitos eletrônicos miniaturizados e Circuitos Integrados no âmbito do Projeto CITAR- FINEP.

Atualmente, o programa conta com dois CubeSats no espaço, sendo eles o NanosatC-BR1 e o NanosatC-BR2, identificados na Figura 13.

Figura 13: NanosatC-BR 1 [a] e o NanosatC-BR 2 [b].



Fonte: INPE .

O primeiro nanossatélite, um CubeSat 1U, foi lançado em 2014. Este tem a missão de coletar dados do Campo Magnético Terrestre principalmente na região da Anomalia Magnética da América do Sul – AMAS e do setor Brasileiro do Eletrojato Equatorial Ionosférico. Assim como, testar, em voo, Circuitos Integrados (CIs) projetados no Brasil.

Já o segundo CubeSat, lançado em 2021, é do tipo 2U, e seu objetivo é de monitorar no geoespaço a intensidade do campo geomagnético e a precipitação de partículas energéticas ionizantes, como qualificar no espaço suas cargas úteis tecnológicas.

Além das missões citadas, devido ao envolvimento de vários alunos de graduação e pós-graduação, a missão de ambos nanossatélites também tem forte viés educacional.

O programa conta também com o NCBR3, o terceiro CubeSat a ser desenvolvido, e foco principal deste trabalho, encontra-se na fase conceitual.

### **2.3.1 NANOSATC-BR3**

O terceiro nanossatélite do programa “NanosatC-BR, Desenvolvimento de CubeSats”, o NCBR3, pretende dar continuidade às missões de seus antecessores de forma incremental, isto é, aumentando gradualmente o nível de complexidade de cada vertente das missões anteriores: educacional, científica e tecnológica. Semelhantemente ao NCBR1, o NCBR3 será composto por um CubeSat 1U, que segundo NASA (2017) possui formato de um cubo de 10 cm e em média 1kg.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abrange a revisão de trabalhos relacionados ao uso do modelo Arcadia e o software Capella no início de projetos de satélites. Os seguintes trabalhos foram encontrados através de pesquisas nas bases de dados do *Google Scholar* e *Researchgate*, recomendação dos orientadores e apresentações realizadas durante o *Capella Days 2020*, *Capella Days 2021* e os *Capella webinars* sucedidos pela OBEO. As palavras chaves de pesquisas usadas foram: “Capella”, “MBSE”, “CubeSat”, “Arcadia”, “Satélites” e “Satellite”.

Drouin (2021) ilustra como seria a introdução do Capella e o Manual de Engenharia de Sistemas da NASA para uma visão geral da modelagem com o Telescópio Espacial HUBBLE. Através da adoção de alguns diagramas para mostrar a aplicação da metodologia ARCADIA e a ferramenta Capella foi observado as semelhanças e diferenças dos dois sistemas propostos, assim como, a união dos dois durante o processo de modelagem. O autor demonstra também como as informações ficam mais fáceis de serem compartilhadas e utilizadas.

Já Minacapilli (2021) relata a aplicação concreta de MBSE no projeto do CubeSat 12U do Politécnico di Milano que utiliza o ciclo de vida proposto pela ESA. Semelhante ao trabalho proposto, o autor também faz o uso da ferramenta Capella e a metodologia ARCADIA para aperfeiçoar o desenvolvimento de um CubeSat. A escolha desse método foi devido ao fato da ferramenta incorporar a metodologia e a linguagem, ser open-source, customizável e ter um processo de aprendizado rápido. Vantagens encontradas pelo uso de MBSE até a Fase A - Viabilidade do desenvolvimento do CubeSat foram a rastreabilidade entre os requisitos e os elementos do modelo, sendo uma abordagem sólida, eficaz e eficiente para gerenciar a complexidade do satélite.

De forma semelhante, Almeida (2021) se baseia em nanosatélites de tipo CubeSat para realização do seu trabalho de modelagem e simulação de missões. O autor também emprega o software Capella e opera o ForPlan Satellite Simulator para realização das simulações de satélites. Por meio do Capella o autor gerou importantes diagramas para a análise de requisitos e preparação dos cenários de

simulação que seriam eventualmente criados no ForPlan. Foi possível observar a facilidade de compartilhar informações e transformar a modelagem de um software para o outro para o auxílio da criação de um conceito de operação de CubeSat.

Em seu trabalho conjunto da Agência Espacial da França (CNES) com a Administração Nacional Espacial da China (CNSA), Lasalle (2020) utiliza o software Capella para realizar as atividades propostas pelo MBSE. O principal objetivo do trabalho foi a identificação das capacidades e a relevância de capturar a especificação do sistema usando Capella. Nele pode-se observar que há uma avaliação direta da cobertura dos recursos por item de modelagem entre as camadas do Capella. Além de que a estrutura de comunicação é promissora e há uma especificação formal das interfaces, no entanto não foi possível avaliar de forma clara o ganho capital. O autor nota também que todos os documentos necessários foram automaticamente gerados a partir do modelo, o que evitou resíduos de tempo na tarefa pesada do documento de escrita.

Tabela 1: Principais contribuições de cada referência bibliográfica.

<b>Autor</b>	<b>Principais Contribuições</b>
Drouin (2021)	União do Capella e o Manual de Engenharia de Sistemas da NASA e como o compartilhamento de informação e reutilização de modelos são práticos com o uso da ferramenta Capella em projetos de satélites.
Minacapelli (2021)	O uso da ferramenta Capella e a metodologia ARCADIA mostraram-se eficazes para aperfeiçoar o desenvolvimento de um CubeSat.

Almeida (2021)	União da modelagem no Capella e software de simulação de missões, para o auxílio da criação de um conceito de operação de CubeSat.
Lasalle (2020)	Importância da ligação entre camadas da ferramenta Capella e como todos os documentos necessários serão automaticamente gerados a partir do modelo, evitando resíduos de tempo na tarefa pesada do documento de escrita.

Fonte: Produção dos autores.

A revisão bibliográfica do trabalho permitiu realizar uma análise sobre as contribuições de outros pesquisadores que trabalham com a metodologia MBSE em sistemas espaciais com missões de CubeSats e a ferramenta Capella.

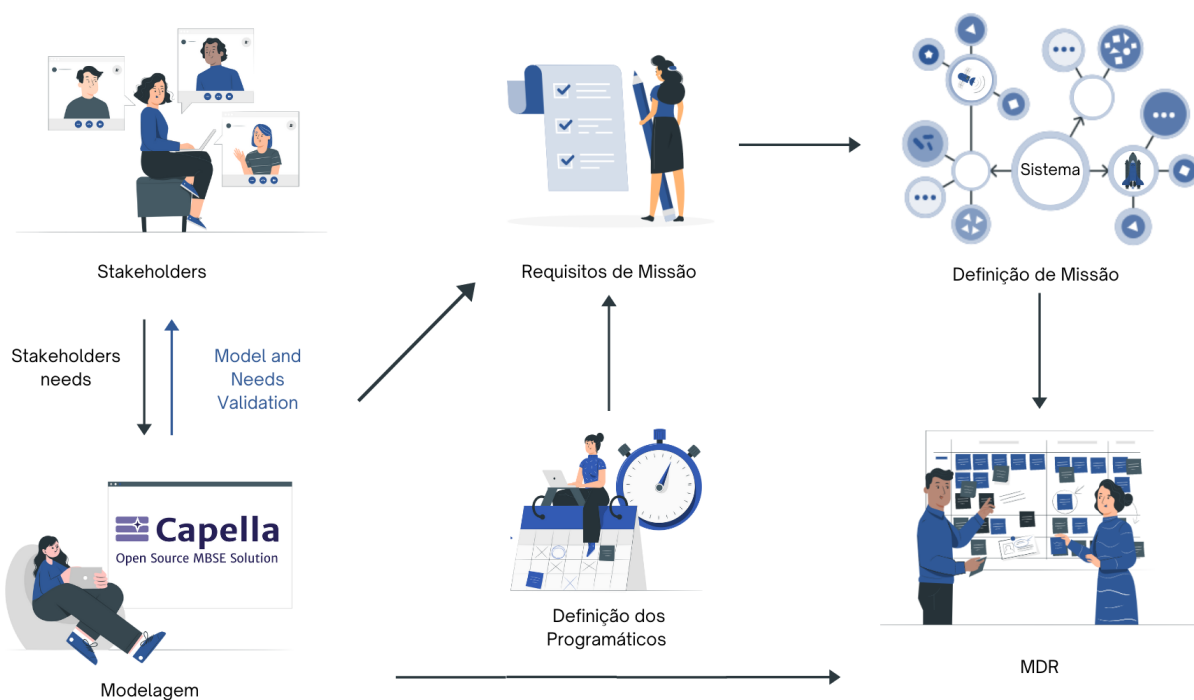
Atualmente, existe a demanda de se realizar a definição de missão do NCB3, e isso será feito com o uso da metodologia MBSE.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho dá continuidade à metodologia do projeto “ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3” realizado no período de 2020-2021 em bolsa de IC&T PIBIC/INPE em parceria com a UFSM. Nele se dá a finalização da Pré-fase A - Estudo de Conceito e início da Fase A - Conceito e Desenvolvimento Tecnológico de acordo com modelo de ciclo de vida da NASA.

A Figura 14 apresenta a metodologia utilizada para a realização do trabalho.

Figura 14: Representação da metodologia.



Fonte: Produção dos autores.

Nela possui as seguintes etapas:

- Análise de Stakeholders: realizar entrevistas com pessoas interessadas em participar do Projeto;
- Modelagem: desenvolver modelos e validá-los;
- Definição dos Programáticos: definir cronograma e custos do Projeto;
- Requisitos de Missão: definir programáticos + definir requisitos dos stakeholders;
- Definição de Missão: definir missão do NCBR3;

MDR: definir e estruturar a documentação para a MDR do NCBR3.

Uma MDR pode ser estruturada em quatro partes, sendo elas : Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades, Análise de Missão, Análise de Conceito e Análise de Programáticos (NASA, 2017).

Cada uma dessas análises possuem importantes entregáveis necessários para uma MDR de sucesso. A primeira, Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades, possui os seguintes itens:

- Identificar os principais stakeholders: respondendo as perguntas “quem são eles?”, “o que eles querem?” e “qual o problema?”;
- ONGs;
- MoEs;
- Arquitetura de referência: Work Breakdown Structure / Product Breakdown Structure (WBS/PBS) .

A segunda parte da MDR, Análise de Missão, possui os itens:

- Análise de missão: através de simulação;
- Budgets preliminares;
- *Trade-Off*;
- Validação.

A terceira parte, refere-se à Análise de Programáticos que inclui os itens:



- Restrições;
- Custo;
- Cronograma;
- Análise de Risco;

Por fim, a Análise de Conceito necessita dos itens:

- Arquitetura e Design;
- Detalhamento da Carga Útil;
- Objetivo e justificativa da missão;
- Conceito de Missão.

Após a realização das entrevistas com os stakeholders, focando no problema, as necessidades iniciais dessas pessoas interessadas (*Stakeholders Needs*), foram analisadas e assim, a fim de auxiliar a revisão e adaptar algumas partes para model-centric, implementadas no software de modelagem de sistemas. Isso permite que as necessidades sejam mais facilmente validadas com os stakeholders, quando compara-se ao uso exclusivo de documentos. Ademais, com o uso de modelo novas correlações são evidenciadas visualmente, o que não é possível nos métodos tradicionais em linguagem puramente escrita.

O software utilizado foi o Capella, que faz parte do projeto Eclipse Capella, um projeto *open-source*, ou seja, é gratuito e possibilita o desenvolvimento de complementos personalizados. O projeto Eclipse Capella chama atenção pois une os três pilares da modelagem, conforme descrito no Capítulo 2.2, possuindo ferramentas intuitivas, a linguagem ARCADIA Modeling Language (ARCML) e o método de modelagem Arcadia, que além de já serem incorporados ao software, são mais intuitivos em comparação com outras linguagens e métodos utilizados (Bürger, 2018).

## 5. MBSE APLICADO AO NANOSAT-BR3

Ao dar continuidade ao projeto “ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3” realizado no período de 2020-2021 em bolsa de IC&T PIBIC/INPE em parceria com a UFSM, obtemos neste trabalho o primeiro *looping* da iteração completo da Fase A do Projeto NANOSATC-BR3, aumentando o nível de complexidade em comparação a Pré-Fase A.

A primeira parte deste capítulo aborda os entregáveis da Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades da MDR, e a modelagem da camada *Operational Analysis*.

A segunda parte do capítulo apresenta os entregáveis da Análise de Missão e as modelagens das camadas sistêmicas (*Functional & Non Functional Need*) e lógica (*Logical Architecture*).

A terceira parte apresenta os os entregáveis da última parte da MDR, Análise de Conceito, e a modelagem da camada física (*Physical Architecture*).

Cada camada tem como principal objetivo entregar respostas razoáveis para perguntas predefinidas, que implica que, as questões são utilizadas como critérios de avaliação das visualizações do modelo, atuando como um controle de completude (Roques, 2017). Por isso, antes de cada vista do modelo selecionada de cada camada, foram estipuladas as “perguntas pré-definidas”, as quais a modelagem pretende auxiliar na resposta.

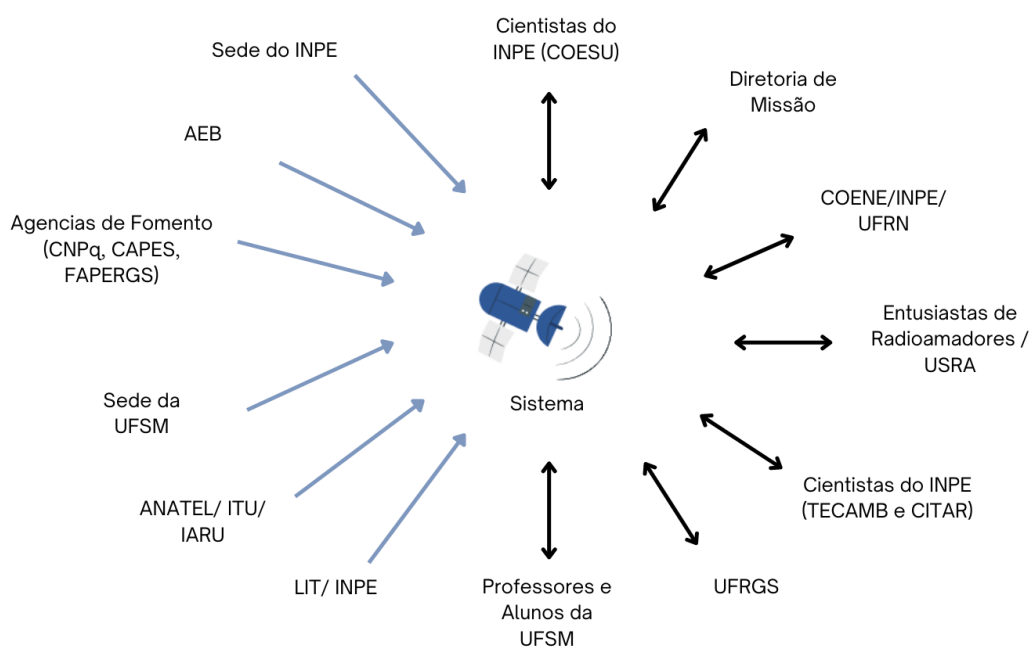
A última parte do capítulo apresenta uma Análise de Programáticos preliminar, visto que o mesmo não teve auxílio de modelos e algumas partes do Projeto NCBR3 ainda não foram definidas.

### 5.1 Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades

A primeira análise necessária para essa etapa da MDR é a identificação dos principais stakeholders. Na composição de um projeto existem diversos stakeholders, eles podem ser

ativos e passivos, que conforme GOMES (2006) se referem respectivamente aos stakeholders que interagem ativamente com o sistema de interesse uma vez operacional e em uso, e os que influenciam o sucesso do sistema implantado. Com isso em mente, a Figura 15 apresenta os stakeholders ativos e passivos do projeto NCBR3.

Figura 15: Stakeholders no projeto NCBR3, as setas azuis indicam interação passiva ao sistema e as setas pretas indicam interação ativa ao sistema proposto.



Fonte: Produção dos autores.

Através das entrevistas realizadas, foi possível identificar as necessidades dos stakeholders ativos identificados, e as que não obtiveram nenhuma necessidade específica não estão inclusas no trabalho. Esta atividade, assim como todo o processo de análise de stakeholders é iterativo, sendo assim, outras elicitações ocorrerão de forma subsequente.

Logo, a Tabela 2 apresenta os principais stakeholders, as instituições participantes, e as capacidades operacionais a serem adquiridas desenvolvidas por cada um.

Tabela 2: Stakeholders e suas capacidades operacionais desejadas.

<b>Stakeholder</b>	<b>Capacidades operacionais</b>
COENE/INPE/UFRN	Validar o transceptor desenvolvido pelas instituições.
Entusiastas do Radioamadorismo/ USRA	Meio educacional de comunicação de satélite para radioamadores e pessoas interessadas em radioamadorismo.
UFRGS	Validar o método (hardware e software) para caracterizar materiais no espaço.
Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)	Validar o material inovador desenvolvido, de proteção à radiação e detritos.
Cientistas do INPE (COESU e DGE)	Analisar Campo Geomagnético e partículas ionizantes.
Professores e Alunos da UFSM	Desenvolvimento de capacitação de recursos humanos para a área espacial

Fonte: Produção dos autores.

Outro item importante nesta etapa são os Requisitos, Objetivos e Metas (NGOs). Em outros termos, NGO é um mecanismo que visa o entendimento de todos relacionados ao

projeto desde o início do mesmo. Isso implica a definição do problema que precisa ser resolvido e seu escopo. Conforme Larson (2009), Requisitos, ou *Needs*, são uma declaração única relacionada ao problema no qual o sistema pretende solucionar sem a solução propriamente dita. Já os Objetivos, ou *Goals*, são a elaboração dos Requisitos que constitui um conjunto específico de expectativas para o sistema. Os Objetivos abordam os problemas críticos identificados durante a avaliação do problema e não necessitam ser mensuráveis ou quantitativos. Por fim, as Metas, ou *Objectives*, são alvos específicos a serem atingidos relacionados ao sistema. Cada Meta deve ser relacionada a um dos Objetivos previamente citados. De acordo com o autor, as metas devem ser específicas, mensuráveis, realista e focada em resultados. Sendo assim, para o presente trabalho com o auxílio do software Capella foram propostos os seguintes NGOs. Para apresentar os Objetivos e Metas relacionados à Missão Científica (Tabela 3), Missão Tecnológica (Tabela 4) e Missão Educacional (Tabela 5) do Projeto NCBR3.

Tabela 3: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Científica do NCBR3.

Necessidade Científica: As Instituições Nacionais necessitam realizar estudos de distúrbios na magnetosfera, principalmente na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.	
<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>
1. Promover pesquisas científicas relacionadas à fenomenologia do Geoespaço e Clima Espacial.	1.1 Desenvolver publicações de artigos relacionados à fenomenologia do Geoespaço e Clima Espacial.
2. Monitoramento do Geoespaço das condições geomagnéticas na superfície e	2.1 Providenciar monitoramento diário do Campo Geomagnético na Ionosfera.

em órbita sobre as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS e do Eletrojato Ionosférico Equatorial sob a qual o Brasil se encontra.	2.2 Detectar, rastrear e/ ou identificar partículas ionizantes na superfície e em órbita sobre as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.
--	---

Fonte: Produção dos autores.

Tabela 4: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Tecnológica do NCBR3.

Necessidade Tecnológica: Instituições Nacionais necessitam validar componentes desenvolvidos das áreas de ciências, engenharias e tecnologias espaciais.	
<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>
1. Validação tecnológica de componentes nacionais.	1.1 Validar o material inovador desenvolvido, de proteção à radiação e detritos. 1.2 Validar método de caracterização de material no espaço. 1.3 Validar o transceptor desenvolvido pelas instituições.

Fonte: Produção dos autores.

Tabela 5: Requisitos, Objetivos e Metas da Missão Educacional do NCBR3.

Necessidade Educacional: Instituições Nacionais necessitam capacitar recursos humanos para a área espacial.	
<b>Objetivos</b>	<b>Metas</b>

<p>1. Promover a capacitação e motivação de recursos humanos ao setor espacial.</p>	<p>1.1 Ter um meio de comunicação de satélite para radioamadores e pessoas interessadas em radioamadorismo.            1.2 Capacitar alunos de graduação            1.3 Capacitar alunos de pos-graduação</p>
<p>2. Promoção futura da cooperação nacional, INPE/MCTIC – UFSM, para nível internacional com ênfase nas instituições, universidades, além dos aspectos das pesquisas técnicas e científicas de interesse local, nacional e internacional.</p>	<p>2.1 Desenvolver publicações a partir da cooperação internacional.</p>

Fonte: Produção dos autores.

Seguindo a lista de itens para a Análise de Stakeholders e Identificação de Necessidades da MDR, tem-se a Medida de Efetividade (MoE). A MoE representa as métricas pelas quais um adquirente medirá a satisfação com os produtos produzidos pelo esforço técnico (IEEE 2005). Para melhor contabilizar cada atividade operacional foram selecionadas as seguintes medidas, como demonstrada na Tabela 6.

Tabela 6: Medidas de efetividade para as Atividades Operacionais do NCBR3.

<b>Atividade Operacional</b>	<b>MOE</b>
Validar o Transceptor	Número de dados válidos do transceptor

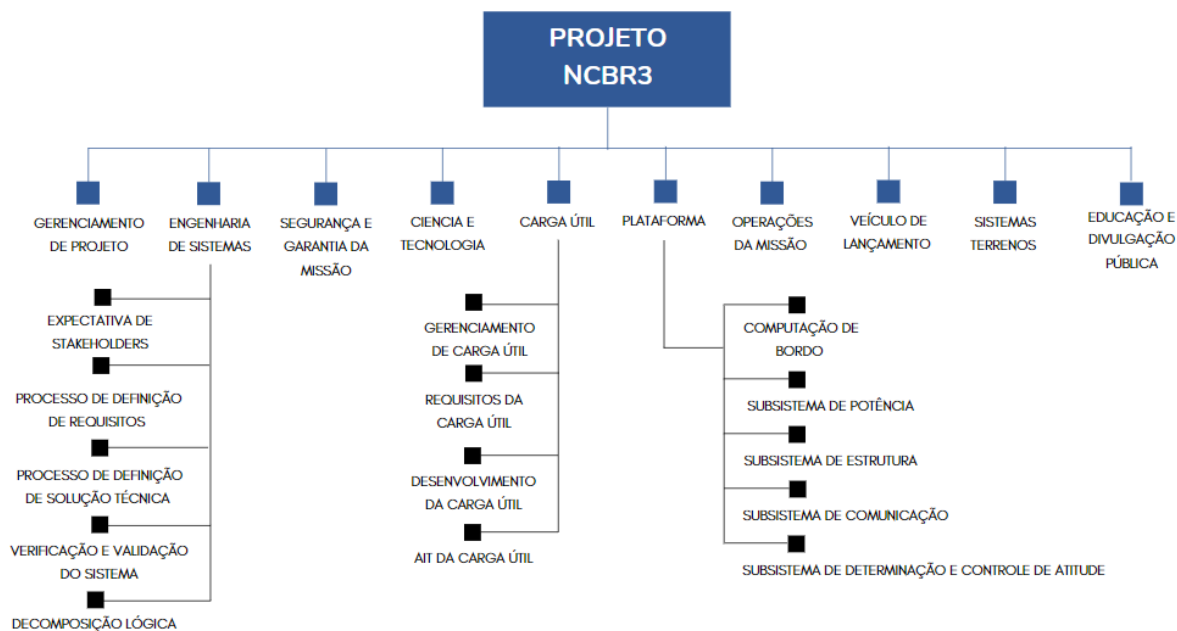
Medição do Campo Geomagnético Terrestre	Número de dados válidos coletados do campo geomagnético terrestre no período de uma semana
Validar o Material	Número de dados válidos do material
Auto Entretenimento, intercomunicação e investigações técnicas	Número de radioamadores que fazem o upload de imagens do NCBR3
Coleta de Dados	Número de dados coletados
Desenvolvimento do NCBR3	
Elaborar Análise do Desenvolvimento do NCBR3	Número de análises do desenvolvimento do NCBR3 produzidas
Elaborar Análise de Dados da Plataforma do NCBR3	Número de análises de dados da plataforma do NCBR3 produzidas
Publicações de Estudantes	Número de publicações realizadas pelos estudantes

Fonte: Produção dos autores.

Foi desenvolvida também a *Work Breakdown Structure* (WBS) do projeto NCBR3 (Figura 16). Segundo IEEE (2005), a WBS representa uma hierarquia de elementos, processos de ciclo de vida usados para designar equipes de desenvolvimento, realizar revisões técnicas e dividir o trabalho designado e as alocações de recursos associados a cada uma das tarefas necessárias para atingir os objetivos do projeto.



Figura 16: *Work Breakdown Structure* (WBS) do projeto NCBR3



Fonte: Produção dos autores.

Para finalizar essa etapa, foram transcritos textualmente as necessidades operacionais identificadas de cada stakeholder, sendo reunidas na Tabela 7.

Tabela 7: Necessidades dos Stakeholders.

ID da Necessidade	Necessidade	Stakeholder
STK_001	O stakeholder deve ser capaz de validar o transeptor Environmental Data Collector - EDC.	COENE/INPE/ UFRN



STK_001.01	O stakeholder deve receber os dados em uma faixa de frequência diferente dos demais aparelhos presentes no nanossatélite, sendo ela de 401 MHz.	COENE/INPE/ UFRN
STK_001.02	O stakeholder deve receber os dados pelo menos duas vezes por dia.	COENE/INPE/ UFRN
STK_0010.03	O stakeholder deve receber os dados pela estação de solo localizada na cidade de Natal/ Brasil.	COENE/INPE/ UFRN
STK_001.04	O stakeholder não deve receber os dados através da faixa de frequência utilizada na aplicação de radioamador.	COENE/INPE/ UFRN
STK_001.05	O stakeholder deve receber os dados na órbita da faixa LEO, ou mais próxima do equador.	COENE/INPE/ UFRN
<b>STK_002</b>	O stakeholder deve ser capaz de validar o material de de blindagem de radiação solar no espaço.	Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)
STK_002.01	O stakeholder deve ser capaz de expor o material em radiação direta.	Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)
STK_002.02	O stakeholder deve ser capaz de validar a capacidade	Cientistas do INPE



	do material de proteção física contra micrometeoritos.	(TECAMB e CITAR)
STK_002.03	O stakeholder deve ser capaz de receber pelo menos 6 meses consecutivos de voo de dados do experimento.	Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)
STK_002.04	O stakeholder deve ter sua carga útil integrada sem ser riscada.	Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)
STK_002.05	O stakeholder deve ter sua carga útil integrada sem ser perfurada.	Cientistas do INPE (TECAMB e CITAR)
STK_003	O stakeholder deve ser capaz de validar o método utilizado para validar o material de blindagem no espaço.	UFRGS
STK_003.01	O stakeholder deve ser capaz de receber dados com o uso do material de blindagem de espessura 1.	UFRGS
STK_003.02	O stakeholder deve ser capaz de receber dados sem o uso do material de blindagem de espessura 1.	UFRGS
STK_003.03	O stakeholder deve ser capaz de receber dados com o uso do material de blindagem de espessura 2.	UFRGS



STK_003.04	O stakeholder deve ser capaz de receber dados sem o uso do material de blindagem de espessura 2.	UFRGS
<b>STK_004</b>	O stakeholder deve ser capaz de adquirir dados com o intuito de educar e incentivar aspirante a radioamadorismo em relação a comunicação de satélite.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.01	O stakeholder deve receber dados na faixa de frequência de radioamador.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.02	O stakeholder deve receber imagens digitais previamente selecionadas pelo programa em um período de tempo limitado com o seu callsign e bandeira nacional de seu país.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.03	O stakeholder deve receber dados da carga útil do satélite.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.04	O stakeholder deve ser capaz de decodificar os dados recebidos.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.05	O stakeholder deve ser capaz de acessar um site com informações referentes a missão, projetos colaborativos e a competição para radioamadores.	Entusiastas de Radioamadores
STK_004.06	O stakeholder deve ser capaz de participar da	Entusiastas de

	competição para radioamadores.	Radioamadores
STK_004.07	O stakeholder deve ser capaz de enviar a imagem recebida aos responsáveis pela competição para radioamadores.	Entusiastas de Radioamadores
<b>STK_005</b>	O stakeholder deve ser capaz de realizar um estudo sobre o campo geomagnético terrestre.	Cientistas do INPE (COESU)
STK_005.001	O stakeholder deve receber dados do campo geomagnético terrestre com resolução entre 1 segundo a 1 minuto.	Cientistas do INPE (COESU)
STK_005.002	O stakeholder deve receber dados do campo magnético terrestre relacionados à região de Santa Maria, RS.	Cientistas do INPE (COESU)

Fonte: Produção dos autores.

Os itens expostos nessa etapa do MDR contaram com o auxílio do modelo desenvolvido para a Camada Operacional ou *Operational Analysis*.

## 5.2 Modelagem da Camada Operacional

A Análise Operacional, segundo o método Arcadia, revisado no Capítulo 2.2, é a primeira fase a ser desenvolvida. Nela ocorre a definição das necessidades dos stakeholders e o ambiente através de diferentes vistas do modelo (do inglês *model-view*). Entretanto, nesta fase ainda não existe um sistema e nem uma missão, apenas capacidades operacionais

(elementos ovais de cor marrom) desejadas pelos stakeholders, que são posteriormente desdobradas em atividades operacionais (elementos amarelos). Nas *modelos* são identificadas as entidades, atores, atividades, conceitos e papéis de atuação, nas quais define o que os usuários do sistema pretendem realizar. Dentre as possíveis vistas do modelo dessa fase, as seguintes foram utilizadas no trabalho:

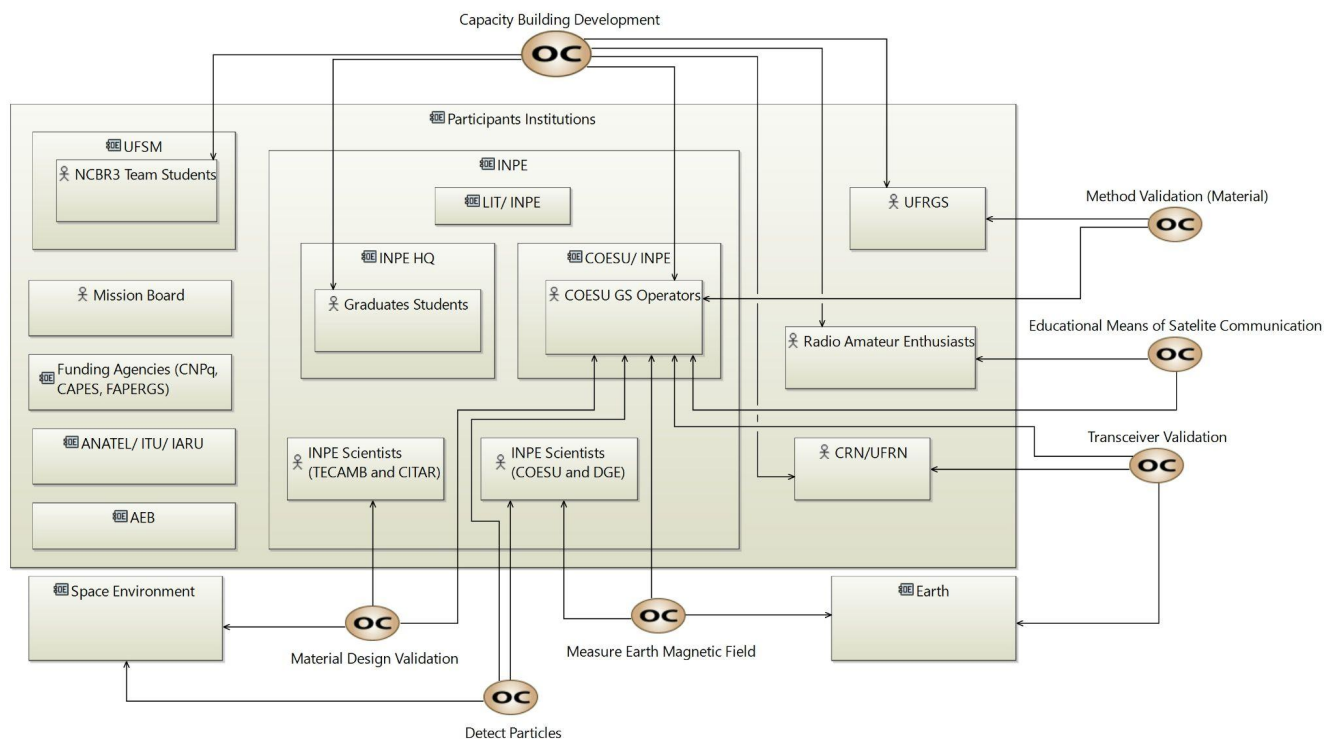
- Diagrama “*Operational Capabilities*” (OCB);
- Diagrama “*Operational Activity Interaction*” (OAIB);
- Diagrama “*Operational Architecture*” (OAB).

O papel da primeira *model-view* elaborada para essa camada, a *Operational Capabilities* ou Capacidades Operacionais em português (OCB), é situar o projeto para as capacidades operacionais que os stakeholders visam ter, tornando todos os elementos de níveis inferiores rastreáveis pelas necessidades mais primárias. Através da Figura 17, a OCB apresenta os stakeholders, identificados como atores operacionais, as instituições que são visualizadas como entidades operacionais e as necessidades dos stakeholders que são as capacidades operacionais.

Como expressado no início do capítulo, cada modelo tem o objetivo principal fornecer respostas para perguntas predefinidas (ROQUE, 2018). Sendo assim, relacionando com os entregáveis da MDR do NCB3, as questões para a OCB são:

- Quais entidades e stakeholders estão envolvidos?
- Quais são as principais capacidades operacionais e suas relações entre as entidades e stakeholders?
- Qual o potencial educacional, científico e tecnológico de uma possível missão?

Figura 17: Capacidades Operacionais (OCB) para o NCBR3.



Fonte: Produção dos autores.

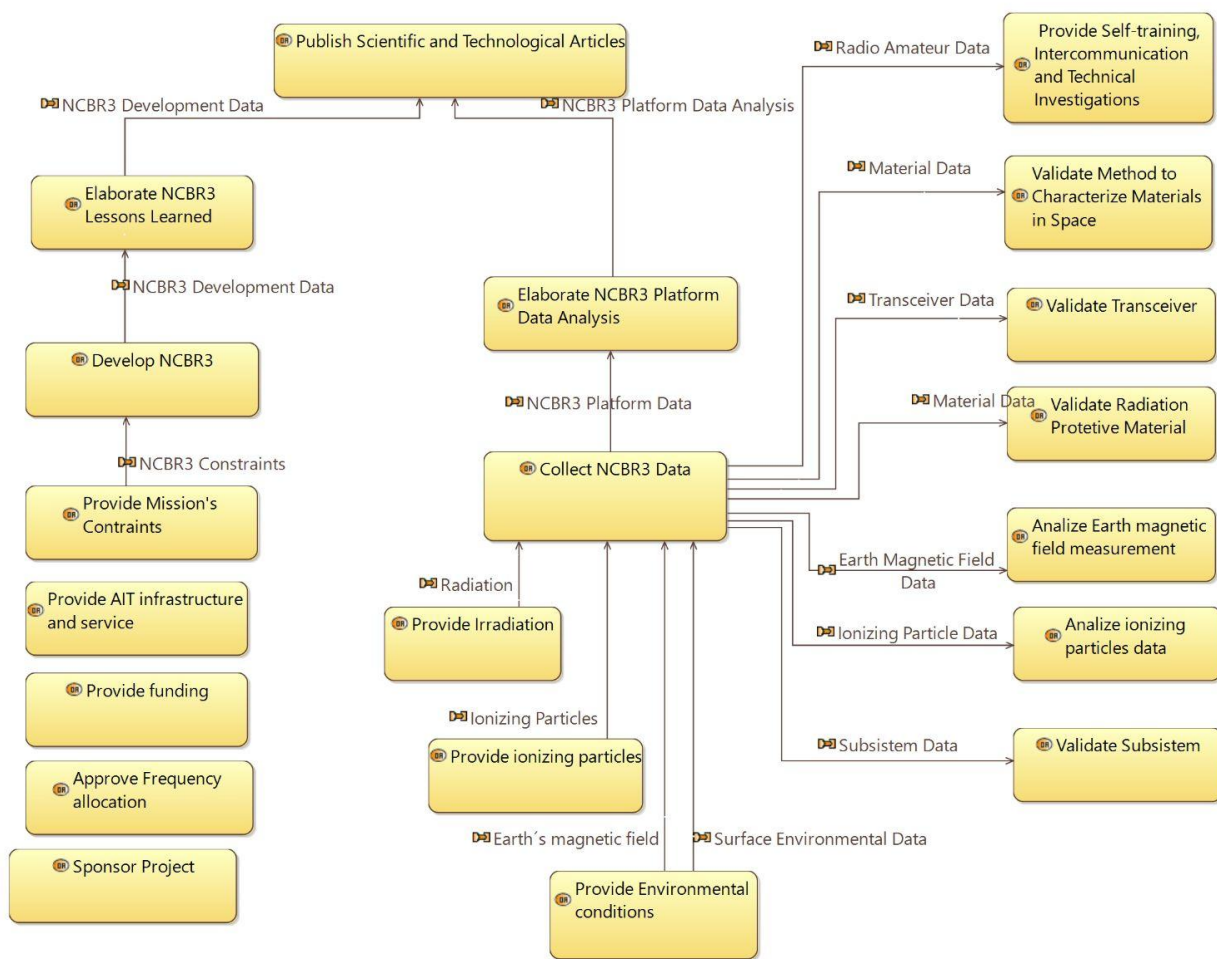
É possível observar na Figura 17 a forte vertente educacional do conjunto de capacidades operacionais identificadas, já que que essa capacidade é vinculada a 6 grupos de stakeholder diferentes e 5 instituições. Bem como, a importância da Estação Terrena (GS), sendo esta vinculada a todas capacidades operacionais.

A segunda *model-view* elaborada para essa camada foi a Interação de Atividades Operacionais, do inglês “*Operational Activity Interaction*”(OAIB), expressa na Figura 18. Essa vista de modelo tem o papel de situar o projeto para as atividades operacionais, assim como as interações que as conectam.

Relacionando com os entregáveis da MDR do NCBR3, as questões para a OAIB são:

- Quais as principais atividades operacionais?
- Quais são os fluxos que relaciona as atividades operacionais?
- Quais as MoEs?

Figura 18: Interação de Atividades Operacionais (OAIB) para o NCBR3.



Fonte: Produção dos autores.



A *model-view* OAIB permite a compreensão das diferentes atividades operacionais, tanto as de dados de desenvolvimento (esquerda), quanto as de dados em voo (direita). A parte relacionada às atividades com dados de desenvolvimento possui o foco em capacitação de recursos humanos, sendo mensurado por meio de publicações de estudantes. Já a segunda parte possui o intuito de atender as necessidades dos stakeholders, mensurando assim por meio da validação dos experimentos.

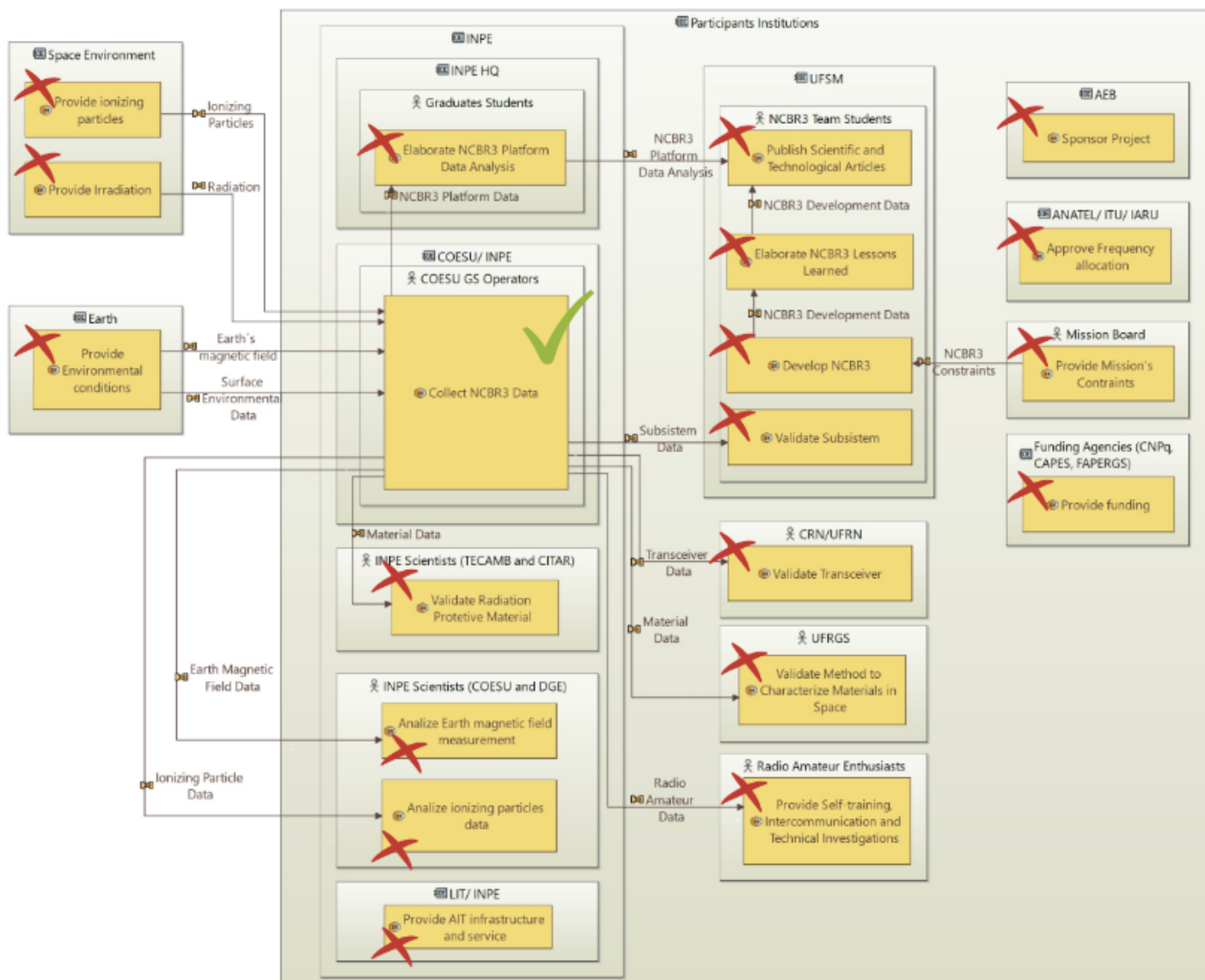
O último *model-view* que será apresentado neste trabalho para essa camada é a Arquitetura Operacional, ou *Operational Architecture* (OAB). A OAB representa um caminho de validação importante no fluxo de dados através do Projeto, visto que ambas entidades operacionais e atores identificados na OCB, bem como as atividades criadas na OAIB podem ser administradas. Segundo Bürger (2018), nesta etapa é possível identificar as atividades operacionais que serão ou não realizadas pelo sistema em desenvolvimento.

A Figura 19 expõe as capacidades e as atividades operacionais que devem ser fornecidas são alocadas em seus respectivos stakeholders, formando a OAB. Isso permite identificar as atividades que cada stakeholder ou instituição. A atividade operacional que será realizada no Projeto NCBR3 está evidenciada na Figura 18 com um *check* na cor verde, e as que não serão realizadas estão marcadas por um “X” vermelho.

As questões que relacionam os entregáveis da MDR do NCBR3 e o OAB são:

- Quais são as ONGs do Projeto?
- Qual a relação entre as atividades operacionais e os stakeholders?
- Quais as atividades operacionais vão fazer parte do sistema?

Figura 19: Arquitetura Operacional (OAB) para o NCBR3.



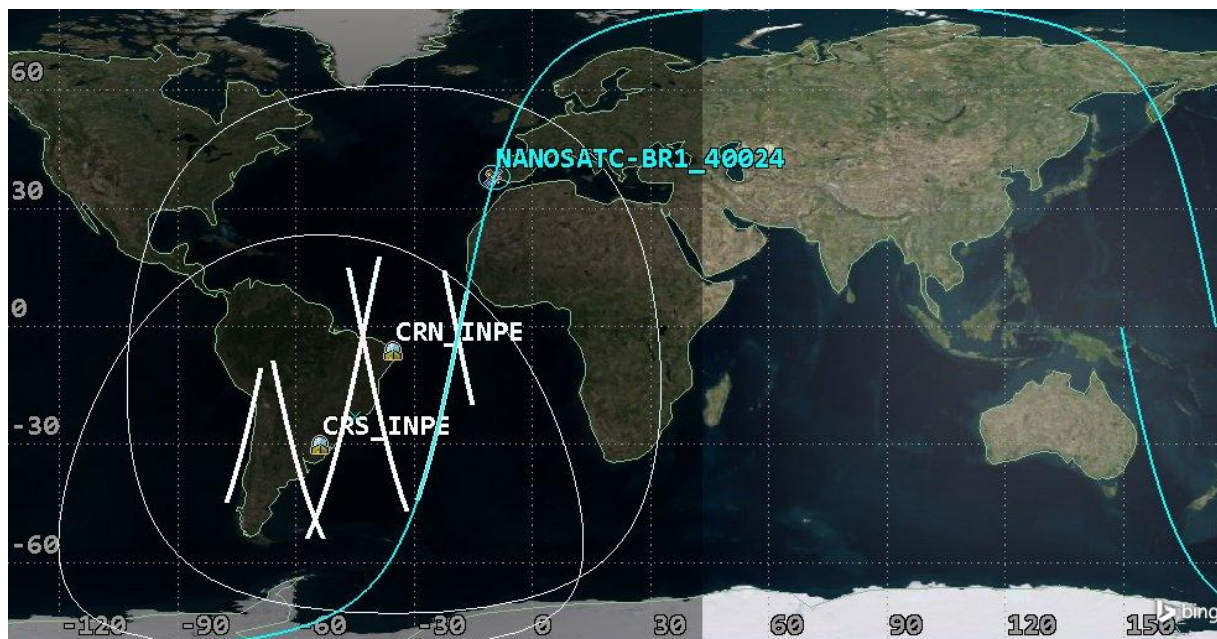
Fonte: Produção dos autores.

A OAB possibilita, mais uma vez, expor a importância da GS e a necessidade do desenvolvimento de um sistema de comunicação eficiente (entre sistema espacial e GS), de forma que haja a transmissão rápida e segura de dados de missão. Isso é facilmente identificado a partir da análise de interfaces operacionais vinculadas à atividade operacional “Collect NANOSATC-BR Data”, alocada ao ator “COESU GS Operators”.

### **5.3 Análise de Missão**

O objetivo da segunda etapa, identificada no Capítulo 4 como Análise de Missão, é analisar a órbita do satélite através de disciplinas físicas e não-físicas para determinar como atingir os objetivos da Missão da melhor forma (Ricks, 2008). Disciplinas físicas, as que serão abordadas brevemente nessa etapa, são as que relacionam aerodinâmica, propulsão, mecanismos de voo e estruturas. Para isso, foi utilizado não apenas o software Capella, como também o *System Tool Kit* (STK), um software que possibilita a análise complexa de plataformas terrestres, do oceano, aeronáuticas e espaciais em um ambiente integrado (AGI, 2019). Por meio da simulação do NCBR1 (Figura 20), foi possível obter uma base de dados preliminares de referência para o NCBR3, que possui requisitos de órbita semelhantes.

Figura 20: Simulação 2D do NCBR1 no STK.



Fonte: Produção dos autores.

A simulação apresenta duas estações terrenas, a CRS-INPE (atual COESU) no sul, e a CRN-INPE (atual COENE) no nordeste do Brasil. Além disso, estão representados na figura da simulação os sensores de cada estação, o sensor do NCBR1 (que representa o transceptor), o percurso de uma das órbitas do NCBR1 (linha azul) e os caminhos de acesso com as estações terrenas (linhas brancas espessas).

Alguns dos dados operacionais obtidos na versão gratuita do software, para uma simulação que representa 24h são exibidos abaixo:

- Período médio de luz solar;
- Período de eclipse;
- Análise de Atitude;
- Acesso às GS;

- Condições iniciais do propagador;
- Analise a trajetória.

A partir dos dados é possível realizar os balanços (*budgets* em inglês) preliminares de potência, de massa e de comunicação. Por ser uma análise preliminar realizada na Fase A, ainda não se sabe a potência, massa, ou a quantidade de dados específicos que cada carga útil necessita. Sendo assim, na Tabela 8, baseando-se nos dados da simulação realizada no STK e com os *Datasheets* de componentes de referência para pequenos satélites obtidos no site da empresa *ISISPACE* (2021), foi realizada uma extrapolação da quantidade de potência e do volume de dados (comunicação) que o CubeSat irá suportar.

Tabela 8: Balanço preliminar de potência e comunicação.

Subsistema	Especificações do ISISPACE	Dados do STK (s/dia)	Balanço preliminar
Potência (painéis solares)	<i>1U Small satellite solar panels: 2,3 W</i>	Duração máxima de luz solar: <b>3803</b>	<b>2,4 Wh/dia</b>
Comunicação	<i>VHF uplink/UHF downlink Full Duplex Transceiver: 9600 bps</i>	Duração máxima - mínima de contato com as GSs: CRS/INPE: <b>763 - 344</b> CRN/INPE: <b>690 - 624</b>	CRS/INPE: (max) <b>0,8832 MB/dia</b> (min) <b>0,4128 MB/dia</b> CRN/INPE: (max) <b>0,828 MB/dia</b> (min) <b>0,7488 MB/dia</b>

Fonte: Produção dos autores.

A partir do pré-orçamento é possível realizar os balanços preliminares, no entanto para isso, é necessário especificações de todas as cargas úteis do sistema, as quais não se tem acesso ainda. Como consequência, será desempenhado os trade offs, ou seja, uma análise de parâmetros dentro das restrições de custo e o cronograma com a finalidade de definir quais serão as melhores opções de implementação para cada função do sistema em termos de eficiência. O Prosseguimento desses balanços e finalização do projeto conceitual do NCBR3 farão parte do escopo da continuidade deste Projeto de Pesquisa de IC&T.

Após a definição do conceito, todos os interessados validarão os parâmetros estipulados e definições realizadas, então o Projeto seguirá para a Fase B, Projeto Preliminar.

#### **5.4 Modelagem da Camada Sistêmica**

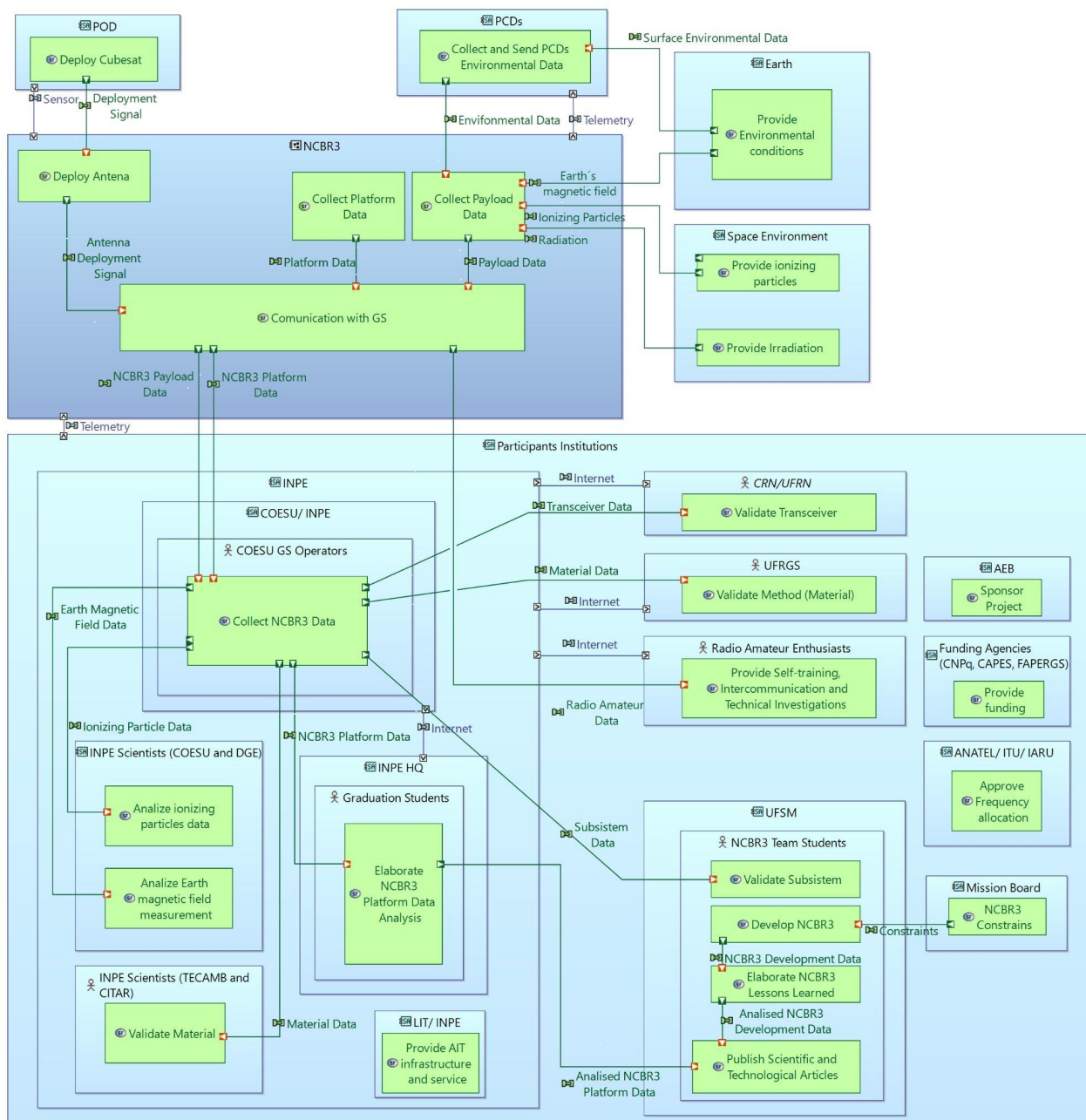
A segunda camada apontada pelo método ARCADIA, descrito no Capítulo 2.2, é a *Function & Non Functional Needs*, que também pode ser chamada de Camada Sistêmica. Esse cenário exhibe o sistema a ser desenvolvido em concordância com a OAB, está representado por azul escuro. Nele, os stakeholders e outros sistemas externos são retratados por azul claro, e os elementos em verde simbolizam as funções de alto nível (Slongo, 2019).

A Figura 21 mostra o *model-view* mais importante desta camada, a Arquitetura Sistêmica, ou *System Architecture* (SAB) em inglês, que tem o propósito de identificar as entradas e saídas do sistema em relação aos atores existentes.

No geral, essa camada responde às seguintes perguntas:

- O que o sistema deve fazer ?
- Qual é a interface externa do sistema?

Figura 21: Arquitetura Sistemática (SAB) para o NCBR3.



Fonte: Produção dos autores.



## 5.5 Modelagem da Camada Lógica

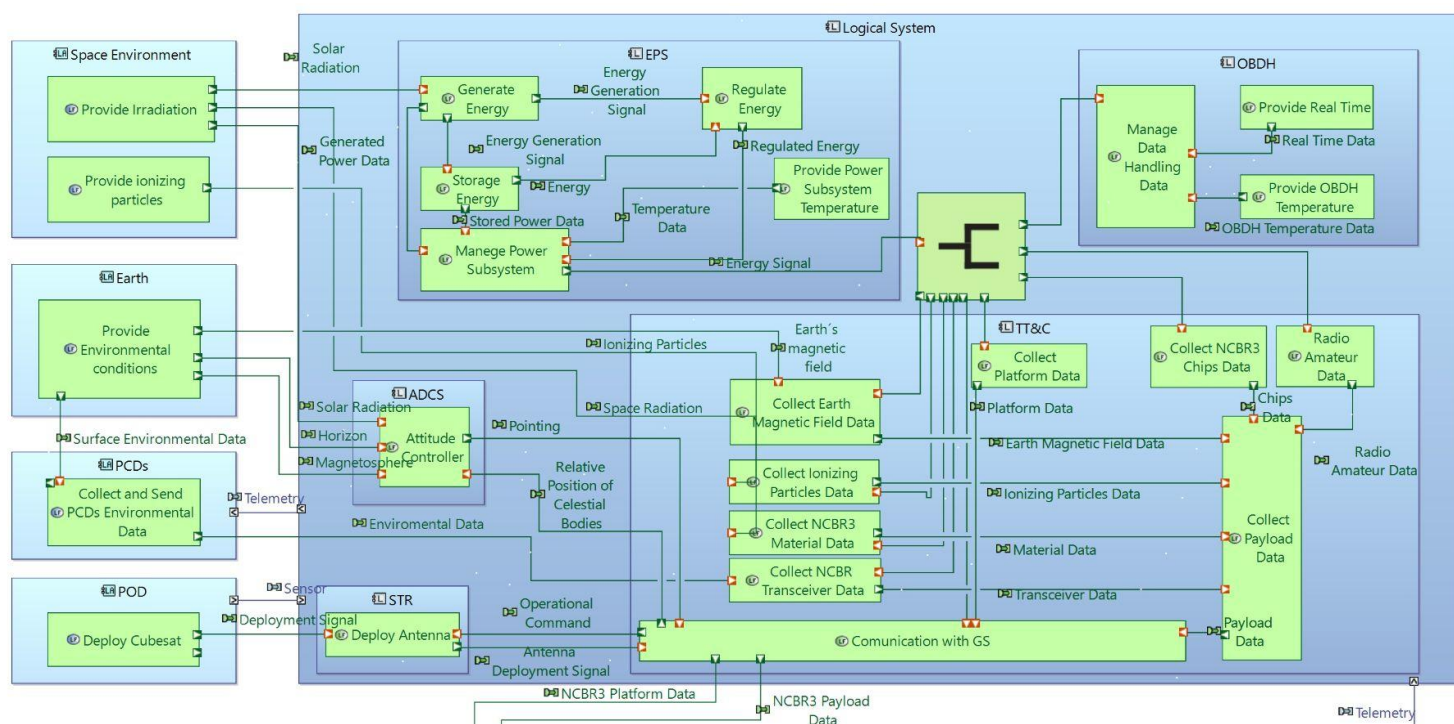
A terceira camada do Método ARCADIA, Camada Lógica, prossegue a ideia de analisar o sistemas, mas com o propósito de especificar os comportamentos esperados e identificar as trocas externas com os atores (ROQUES, 2018). Nela, também é possível identificar elementos estruturais conhecido como componente lógico, ou *Logical Components* em inglês, a qual exclui considerações ou implementações tecnológicas. Esses componentes lógicos formam a WBS apresentada no Capítulo 5.3.

A principal *model-view* da camada Lógica é a Arquitetura Lógica (LAB), identificada na Figura 22.

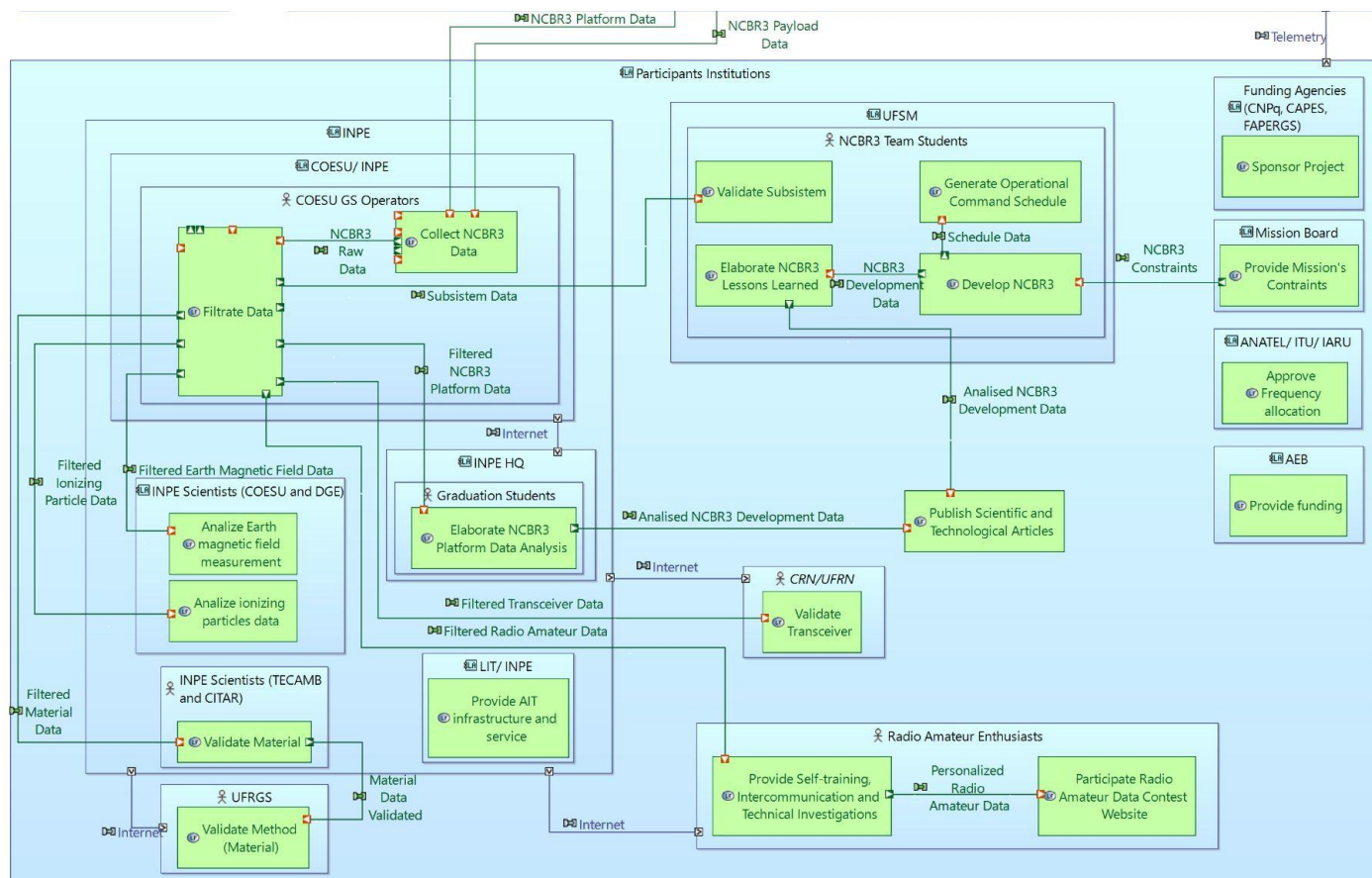
Ao relacionar com os entregáveis da MDR do NCBR3 obtemos respostas às seguintes perguntas:

- Quais são as principais funções dos subsistemas do sistema?
- Quais são as interações entre as funções dos subsistemas?
- Qual a interação das funções com componentes externos?

Figura 22: Arquitetura Lógica (LAB) para o NCBR3.







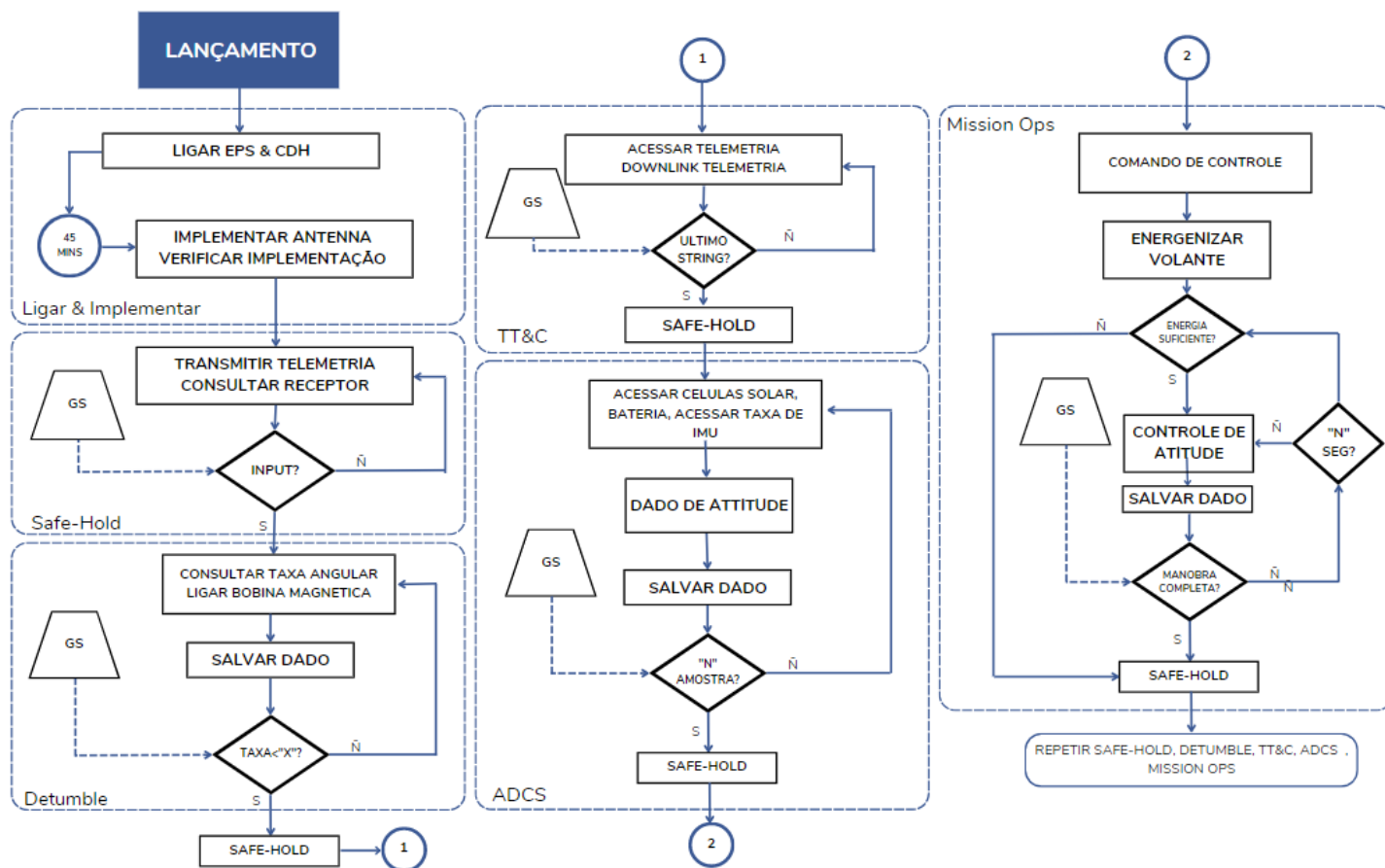
Fonte: Produção dos autores.

## 5.6 Análise de Conceito

A Análise de Conceito tem a intenção de detalhar e analisar o conceito da missão por meio de conceito de operação (ConOps), detalhamento da carga útil, objetivo e justificativa da missão. Essa etapa pode ser desenvolvida através do auxílio de todas as camadas do software Capella.

O ConOps (Figura 23) é definido como uma declaração verbal ou gráfica das suposições ou intenções de um comandante em relação a uma operação ou série de operações (Referência).

Figura 23: ConOps do NCBR3.



Fonte: Produção dos autores.

Segundo NASA (2017) o conceito de operação desenvolvido na Pré-Fase A descreve o conceito de como o sistema será utilizado em alto nível para atender as expectativas dos stakeholders, servindo como uma lista para identificar os requisitos que faltam ou que se contradizem. Na Fase A, são adicionados os requisitos que foram desenvolvidos e validados

na fase anterior. Nessa fase, são identificadas técnicas e ferramentas de verificação e validação. O ConOps descreve o sistema na perspectiva operacional, facilita o entendimento do objetivo final do sistema, e providencia uma base para o planejamento de atividades operacionais.

### 5.7 Modelagem da Camada Física

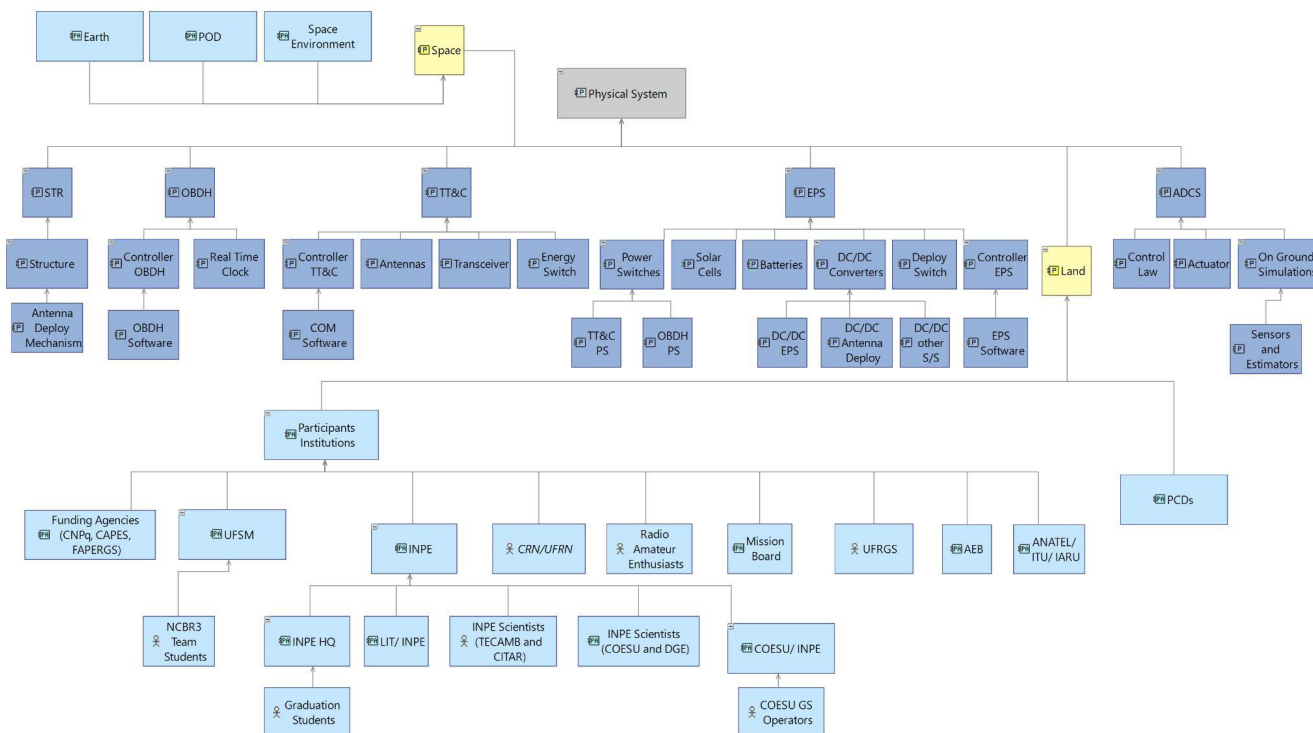
A quarta camada, e última a ser analisada neste trabalho, é chamada de Camada Física, ou *Physical Architecture* em inglês. O objetivo dessa camada é definir os componentes reais que compõem o sistema. As *model-views* mais relevantes dessa camada são a *Physical Data Flow* (PDFB), e a Arquitetura Física (PAB), ou *Physical Architecture* em inglês.

A camada atende às perguntas:

- Qual é a arquitetura e design do Projeto?
- Quais são as cargas úteis ?
- Qual é o conceito de operação da Missão NCB3?

A Figura 24 apresenta a PDFB, nela é identificadas as componentes físicas externas (amarelo), e os componentes físicos comportamentais (azul). Inclui também, os subcomponentes físicos e a sua relação com o sistema físico

Figura 24: *Physical Data Flow (PCBD)* para o NCBR3.

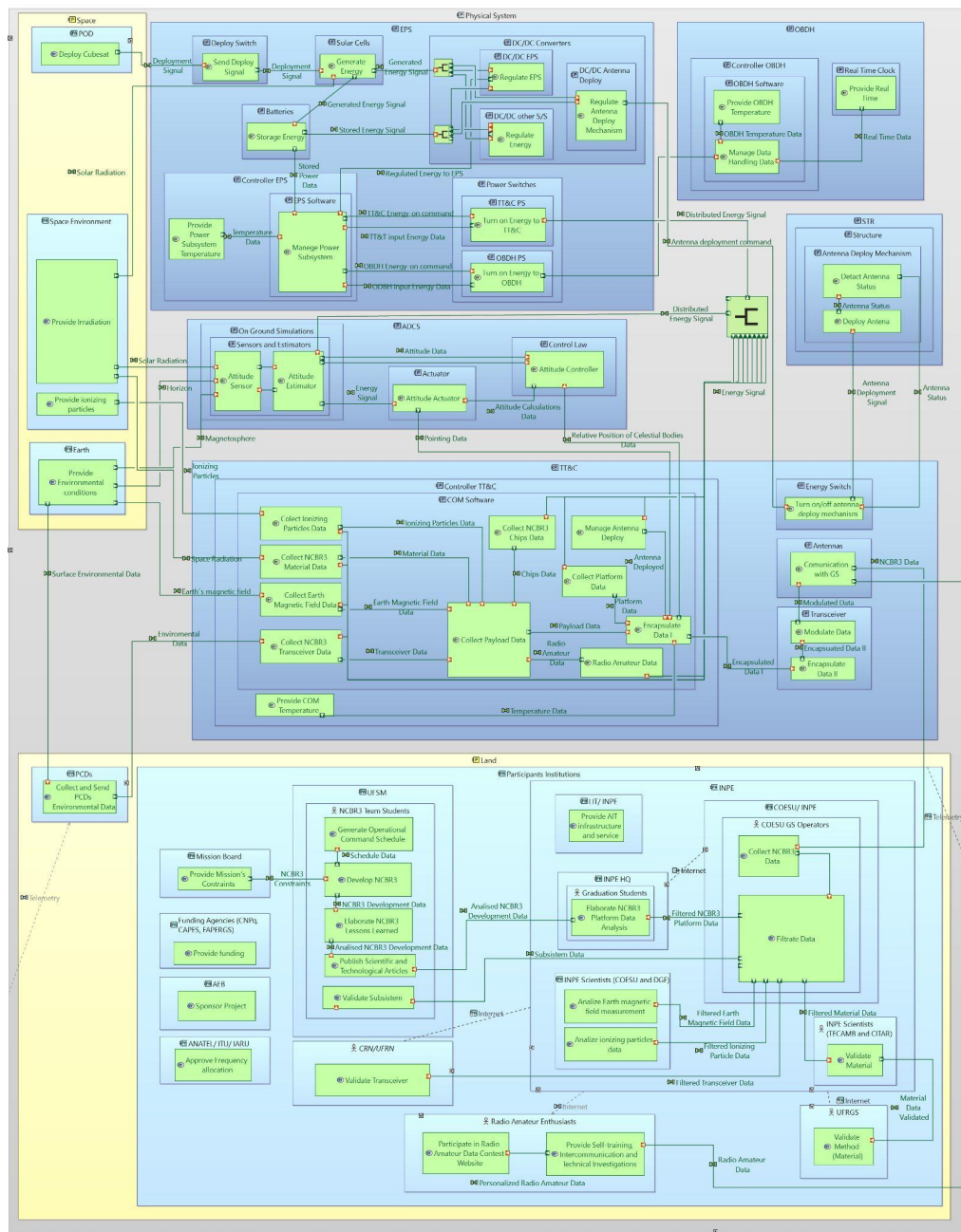


Fonte: Produção dos autores.

Para a Missão do NCBR3 existem dois componentes físicos externos, o espacial (*space*) e o terrestre (*land*), indicando os componentes que interagem com o satélite. Em azul escuro tem-se todos os subsistemas do NCBR3 e os sistemas que os compõem. Já em azul claro estão representados as entidades e stakeholders que fazem parte do Projeto.

Na *model-view* Arquitetura Física (PAB), Figura 26, os componentes físicos são integrados com as funções físicas (verde) identificando as relações entre elas.

Figura 25: Arquitetura Física (PAB) para o NCBR3.



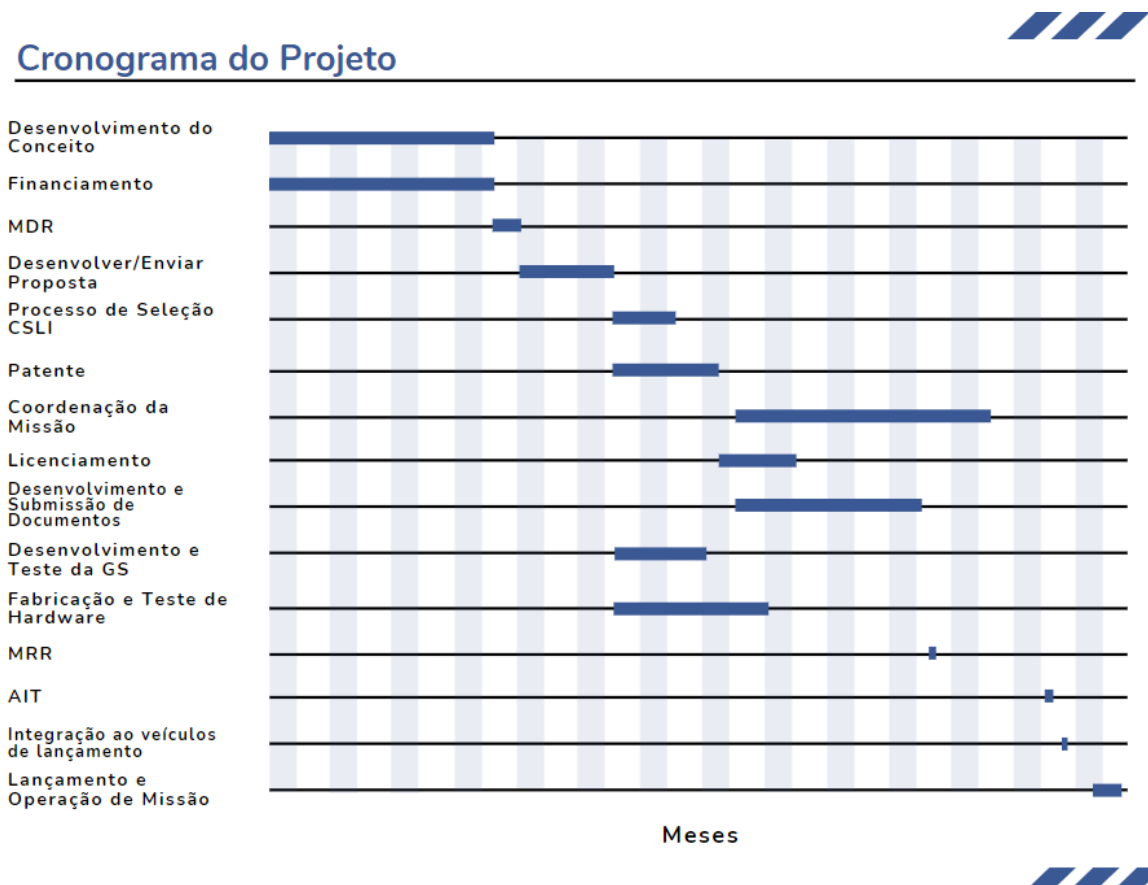
Fonte: Produção dos autores.

## 5.8 Análise de Programáticos

A última etapa da MDR a ser analisada é a Análise de Programáticos, que, conforme NASA (2017), inclui requisitos de estratégias científicas e de exploração, requisitos de desempenho do sistema e cronograma, custos e restrições não técnicas.

A Figura 26 providência o cronograma do projeto, na qual propõe uma linha do tempo de eventos e entregáveis.

Figura 26: Cronograma do Projeto NCBR3 em que cada linha vertical representa 2 meses.



Fonte: Produção dos autores.

A análise de custo, que será realizada em trabalhos futuros, engloba o custo de:

- Mão de obra;
- Indiretos;
- Subcontratação;
- Material;
- Equipamentos;
- Gerais e Administrativos;
- Diretos (viagens, processamento de dados, etc.);
- Juros e Taxas (se aplicável);
- Contingência.

Os requisitos de estratégia científica, requisitos de desempenho do sistema e as restrições não técnicas serão realizados em trabalhos futuros.

## 6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo apresenta a discussão de resultados proveniente do trabalho, com o foco nos objetivos e contribuições.

O principal objetivo do trabalho é a implementação de modelagem de engenharia de sistemas para auxiliar no desenvolvimento dos entregáveis da MDR do NCBR3, e a finalização das duas primeiras fases propostas de acordo com modelo de ciclo de vida da NASA.

Através do referencial teórico, que se encontra no Capítulo 2, foi possível listar e entender melhor o funcionário da primeira revisão de projeto, dada como Mission Definition Review. Já na revisão bibliográfica, Capítulo 3, obteve-se trabalhos semelhantes relacionando MBSE às primeiras fases do ciclo de vida que foram utilizados como auxílio no desenvolvimento dos modelos.

Durante o trabalho realizado no período de 2020 e 2021 foi estabelecido que o processo de desenvolvimento seria mais demorado que o esperado, isso continua sendo um contratempo devido a fatores externos.

Atualmente o Projeto NCBR3 encontra-se na finalização da fase Pré-Fase A e a Fase A, ambas, com bases na NASA, tratam do desenvolvimento do conceito da missão. Por meio de entrevistas, novas informações para o processo de modelagem da camada operacional foram adquiridas, aumentando o nível de complexidade da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos na missão do NCBR3.

A partir dos modelos produzidos anteriormente, novos modelos foram elaborados com a inclusão da camada lógica e da camada físicas. Fazendo com que o trabalho apresentasse um loop completo de todas as camadas pela primeira vez.



No trabalho, novas ferramentas foram exercitadas, como por exemplo o software STK, apresentado no capítulo 5. O software possibilita a elicitación de dados relacionados ao nanosatélite em órbita é uma simulação visual do mesmo.

Com o auxílio do método ARCADIA foi possível a preparação de diversos entregáveis da MDR do NCBR3, observado na Tabela 9.

Tabela 9: Entregáveis realizados/auxiliados pela MBSE da MDR do NCBR3.

<b>MDR</b>	<b>MBSE</b>
Análise de Stakeholder	X
NGOs	X
MoEs	-
Atividades Operacionais	X
WBS/PBS	X
Análise de Missão	X
Trade-offs	-
Validação	X

Restrições	X
Custo	-
Cronograma	-
Análise de Risco	-
Arquitetura e Design	X
Detalhes da Carga Útil	X
Objetivo de Missão	X
Justificativa da Missão	X

Fonte: Produção dos autores.

Muitas das entregáveis da MDR do NCB3 foram desenvolvidas com o apoio do método ARCADIA. No entanto, o método não se aplica a toda extensão das entregáveis da MDR, algumas foram estruturadas sem o uso de modelos, principalmente os entregáveis da Análise de Programáticos.

A partir da Tabela 9, 68% das entregáveis da MDR foram desenvolvidas com o auxílio do MBSE.



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

## 7. CONCLUSÕES

Dando continuação ao trabalho “ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR3” realizado no período de 2020-2021 em bolsa de IC&T PIBIC/INPE em parceria com a UFSM, a atual iniciação científica foi satisfatória em cumprir seu principal objetivo, ao implementar a da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE – Model Based Systems Engineering) na MDR, primeira revisão de projeto, do terceiro nanossatélite do Programa “NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats”, o NANOSATC-BR3 (NCBR3), e dar continuidade das fases Pré-Fase A e início da Fase A.

Como fonte principal livros tradicionais sobre engenharia de sistemas, engenharia de sistemas baseada em modelos e nanossatélites, foram estabelecidos no trabalho bases conceituais relacionadas ao MBSE e ao ciclo de vida da NASA, com foco nas etapas que foram cumpridas para as fases desenvolvidas e a MDR do NCBR3.

Segundo a NASA, para finalizar as duas primeiras fases, a Pré-Fase A que propõe a produção de um vasto espectro de ideias e alternativas para missões a partir das quais novos projetos e a Fase A que visa desenvolver uma proposta de missão que seja confiável e responsiva, é incentivado a realização de uma revisão de projeto, sendo neste caso a MDR do NCBR3.

Mediante todas as camadas do modelo ARCADIA criadas para o NCBR3 por meio do software Capella observou-se que cada uma pode ser utilizada para auxiliar a revisão, visto que as model-views colaboram com as entregáveis sugeridas pela NASA. O uso de modelos também contribui para a facilitação da visualização do Projeto ao todo, além de iniciar o processo de transformação do Projeto de um documento-centrico para um modelo-centrico. Consequentemente, informações ficam mais fáceis de serem compartilhadas e manuseadas. Apesar do uso do MBSE no auxílio da MDR ser promissor, ainda sim existem algumas entregáveis que serão necessárias o uso de documentos para expressá-las.

Durante o desenvolvimento do trabalho, alguns dos obstáculos que aconteceram foram: não ter disponível a versão completa do STK, a falta de financiamento e mudanças de stakeholder. Sendo assim, houve mais atraso no cronograma do projeto, ampliando o tempo do desenvolvimento conceitual do Projeto NCBR3.

Em trabalhos futuros serão discutidas e finalizadas as etapas não concluídas da MDR do NCBR3, e será dada continuidade no desenvolvimento do Projeto da Missão do NANOSATC-BR3.

## 7.1 Publicações e Apresentações

Durante o segundo semestre de 2021 e primeiro semestre de 2022, período no qual o presente trabalho foi desenvolvido, a autora fez parte da 12º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais (WETE), o evento mais tradicional da agenda aeroespacial no Brasil, promovido pelos alunos e Docentes da Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais (PG-ETE) no dia 7 de Novembro de 2021, com o tema “Introducing a model-centric approach to a CubeSat Project: modelling Pré-Phase A ”. Os anais do WETE estão publicados em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.22.14.54>

A autora também fez parte do Seminário de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação do INPE (SICINPE) que ocorreu no período de 22 a 26 de agosto de 2022, no qual apresentou os resultados do projeto que executou no período de 2021-2022.

## REFERÊNCIAS

AGI. **Satellite Design and Operations**, 2019. Disponível em: <https://licensing.agi.com/stk/>. Acesso em: 23 set. 2022.

ALMEIDA, D. P. **Modeling & Simulation of CubeSat-based Missions'Concept of Operations**. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=HhB-Ao1tpaY>>, acesso em: 16 Fev. 2022.

BÜRGER, E. E. **A conceptual MBSE framework for satellite AIT planning**. 2018. IBI: <8JMKD3MGP3W34R/3S3JPME>. (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/10.18.19.41-TDI). Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2018. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/3S3JPME>>.

DROUIN, R. **Capella Warmup - Introduction to CAPELLA/ARCADIA and NASA Systems Engineering Handbook: Modeling overview with the HUBBLE Space Telescope**. 2021.

GOMES, R. C. **Stakeholder management in the local government decision-making area: evidences from a triangulation study with the English local government**. Revista de Administração Contemporânea, [s. l.], v. 10, n. spe, p. 77–98, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-65552006000500005>

IEEE. **IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process**. 2005. Washington, DC, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE 1220-2005

ISISPACE. **BUILDING BLOCKS.** 2021. Disponível em:  
<https://www.isispace.nl/building-blocks/>. Acesso em: 27 set. 2022.

LASALLE, J. **Successful Capella landing on a CNES operational use case.** Disponível em:  
<[https://www.youtube.com/watch?v=MSSauntRZkE&list=PLfrEYVpSGVLyr1VFTWN8uhM\\_S30qgZy05&index=11](https://www.youtube.com/watch?v=MSSauntRZkE&list=PLfrEYVpSGVLyr1VFTWN8uhM_S30qgZy05&index=11)>, acesso em: 16 Fev. 2022.

MBSE WorksTM, **MBSE WorksTM: What is MBSE? - What You Need to Know.** Disponível em: <<https://mbseworks.com/>>, acesso em: 16 Nov. 2021.

MINACAPILLI, P. **Enhancing CubeSat design through ARCADIA and Capella: a concrete application.** 2021. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=OjBdTofp5wQ&feature=youtu.be>>, acesso em: 16 Fev. 2022.

NASA. **2.3 EXAMPLE OF USING THE SE ENGINE**, 2014. Disponível em:  
<https://www.nasa.gov/seh/2-3-example-of-using-the-se-engine>. Acesso em: 25 jul. 2022.

NASA, 2020

NASA. **NASA's CubeSat 101 Document Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers**, 2017

NASA. **NASA Systems Engineering Handbook: NASA/SP-2016-6105 Rev2.** 2017. 12th Media Services.

NASA. **SYSTEM DEFINITION REVIEW – LIQUID ROCKET ENGINES (J-2X, RS-25, GENERAL),** 2011. Disponível em:  
<https://blogs.nasa.gov/J2X/tag/system-definition-review/>. Acesso em: 22 set. 2022.



NASA. **Systems Engineering Handbook**. 2007 Washington, DC, USA: National Aeronautics and Space Administration (NASA), December 2007. NASA/SP-2007-6105.

RICKS, W. *et al.* **NASA Systems Analysis and Concepts Directorate Mission and Trade Study Analysis**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20060049064/downloads/20060049064.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

ROQUES, P. **Systems Architecture Modeling with the Arcadia Method: A Practical Guide to Capella**. Netherlands: Elsevier Science, 2017.

SCHUCH, Nelson J. *et al.* **“THE NANOSATC-BR, CubeSat DEVELOPMENT PROGRAM - A JOINT CubeSat PROGRAM DEVELOPED BY UFSM AND INPE/MCTIC - SPACE GEOPHYSICS MISSION PAYLOADS AND FIRST RESULTS”**. Brazilian Journal of Geophysics, v. 37, n. 1, p. 95-103, mar. 2019. ISSN 1809-4511. Disponível em: <<https://sbgf.org.br/revista/index.php/rbgf/article/view/1992>>. Date accessed: 06 Ago 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.22564/rbgf.v37i1.1992>.

SCOPUS, **SOURCES**. Elsevier, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/sources.uri>. Acesso em: 30 set. 2022.

SLONGO, A. **“NANOSATC-BR3 CONCEPT DESIGN USING MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING (MBSE)”**, 2019