

# **INFLUÊNCIAS DA ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O PROCESSO DE AIT DE SATÉLITES**

Engenharia de Sistemas, organização, complexidade

Ana Claudia de Paula Silva

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

[ana.claudia@inpe.br](mailto:ana.claudia@inpe.br)

Geilson Loureiro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

[geilson.loureiro@inpe.br](mailto:geilson.loureiro@inpe.br)

## **RESUMO**

Embora tradicionalmente o desenvolvimento de satélites e dos sistemas de informação que apoiam os processos do seu ciclo de vida sejam realizados de forma independente, muitas das informações resultantes do esforço do engenheiro de sistemas para desenvolver o satélite também são de interesse para o desenvolvimento dos sistemas de informação. Utilizando como estudo de caso o satélite Amazonia1, neste trabalho percorremos o processo proposto pela Engenharia Simultânea de Sistemas a fim de identificar as suas influências no desenvolvimento de um sistema de informação para apoiar o processo de montagem, integração e testes de satélites. Concluímos que os artefatos da Engenharia Simultânea de Sistemas resultantes do esforço do engenheiro de sistemas para desenvolver um satélite também tem influência nos sistemas de informação, o que sugere que um trabalho colaborativo entre os dois domínios é viável e possibilita que o esforço realizado no domínio da engenharia de sistemas seja aproveitado e não repetido no domínio da engenharia de software.

## 1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Simultânea de Sistemas (SCE - *Systems Concurrent Engineering*) é uma abordagem para desenvolvimento de sistemas complexos, como é o caso de sistemas espaciais.

Esse artigo analisa as influências dos artefatos gerados pela SCE na especificação de um sistema de informação para o processo de montagem, integração e testes (AIT - *Assembly, Integration and Testing*) de satélites.

Usamos como estudo de caso o desenvolvimento de um sistema de informação para apoiar o processo de AIT do satélite Amazonia 1. Amazonia 1 é um satélite de observação da Terra inteiramente projetado, montado, integrado, testado e operado pelo Brasil (INPE, 2023). O processo de AIT desse satélite aconteceu no LIT (Laboratório de Integração e Testes) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Quando falamos de sistemas de informação neste trabalho, falamos dos sistemas que tem como principal componente um software desenvolvido para apoiar processos de negócio das organizações.

Processo de negócio, por definição, são conjuntos de atividades ou tarefas relacionadas executadas para entregar um resultado esperado, como um produto ou um serviço (ROSING et al., 2015).

De acordo com a ESA (*European Space Agency*), projetos espaciais são normalmente divididos em 7 fases. Fases zero, A, B, e C que vão da análise da missão até o projeto detalhado e fases D, E e F, que vão da produção e qualificação, passando pela operação até o descarte do produto espacial (ESA, 2010). O processo de AIT de satélites acontece na fase D. As atividades da SCE acontecem dentro das fases zero à C, nas quais o satélite é desenvolvido.

Nas diversas etapas pelas quais um satélite passa, conjuntos de atividades são realizados para entregar um resultado esperado, ou seja, existem processos de negócio que podem se beneficiar de um sistema de informação.

Este trabalho integra duas áreas de conhecimento, a Engenharia de Sistemas Espaciais, na qual ocorre o desenvolvimento de satélites, e a Engenharia de Software, na qual ocorre o desenvolvimento de sistemas de informação.

Dentre as diversas abordagens para a engenharia de sistemas espaciais, a SCE tem uma proposta mais abrangente que aborda também o desenvolvimento das organizações que implementam os processos do ciclo de vida do produto.

Quando olhamos para o processo da SCE, vemos que muitas das informações levantadas pelo engenheiro de sistemas para desenvolver um produto espacial também são necessárias e levantadas pelo engenheiro de software, no domínio da engenharia de software, para desenvolver sistemas de informação que darão suporte aos processos do ciclo de vida desse produto. Como tradicionalmente essas atividades são realizadas de forma independente, o esforço realizado no domínio da Engenharia de Sistemas não é aproveitado e sim repetido no domínio da Engenharia de Software, o que motiva a investigação sobre a possibilidade de um trabalho conjunto entre os dois domínios.

Este trabalho é motivado pelo potencial de que o esforço realizado no domínio da Engenharia de Sistemas para desenvolver um produto espacial possa ser aproveitado no domínio da Engenharia de Software para desenvolver sistemas de informação para dar suporte aos processos do ciclo de vida desse produto.

## **2. ABORDAGEM**

Para a realização deste trabalho a SCE foi aplicada, em nível suficiente para exemplificação, no caso do satélite Amazonia 1. Assumimos o uso da Engenharia de Sistemas Baseada em Modelos (MBSE – *Model-Based Systems Engineering*) na prática da SCE, ou seja, as atividades propostas pela SCE foram realizadas utilizando modelos.

Seguindo as atividades propostas pela SCE, foram construídos modelos do satélite Amazonia 1 e do LIT, organização que realizou o processo de AIT desse satélite.

A partir dos exemplos da aplicação da SCE, foram analisadas as influências que os artefatos gerados por essa abordagem podem exercer na especificação de um sistema de informação para apoiar o processo de AIT de satélites.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. PROCESSO DE AIT DE SATÉLITES E RELEVÂNCIA DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO**

As atividades de AIT são uma sequência lógica e inter-relacionada de eventos, cujo objetivo principal é alcançar um alto grau de confiança de que o satélite está em conformidade com os parâmetros de desempenho especificados (SILVA; LOUREIRO, 2011). AIT inclui a montagem e integração dos vários subsistemas e a realização de testes funcionais e ambientais no satélite como um sistema (SILVA; LOUREIRO, 2011).

No processo de AIT, é realizado um conjunto de atividades para que um satélite montado, integrado e testado seja entregue. Embora o processo de AIT de satélites tenha uma sequência lógica e quase padronizada, cada organização o executa com suas particularidades, de acordo com sua cultura e estratégias, o que justifica o desenvolvimento de um sistema de informação customizado para dar suporte a esse processo.

Um processo típico de AIT de satélites está representado na Figura 1. As partes do satélite são recebidas, são feitas atividades de montagem mecânica, integração e testes elétricos, até que o satélite esteja pronto para os testes ambientais. Após os testes ambientais, inicia-se a campanha de lançamento.

Cada fase desse processo inclui uma série de atividades que envolvem diversos equipamentos, pessoas, tarefas e informações, sendo, portanto, um processo complexo. Durante esse processo, várias informações são geradas e requeridas.



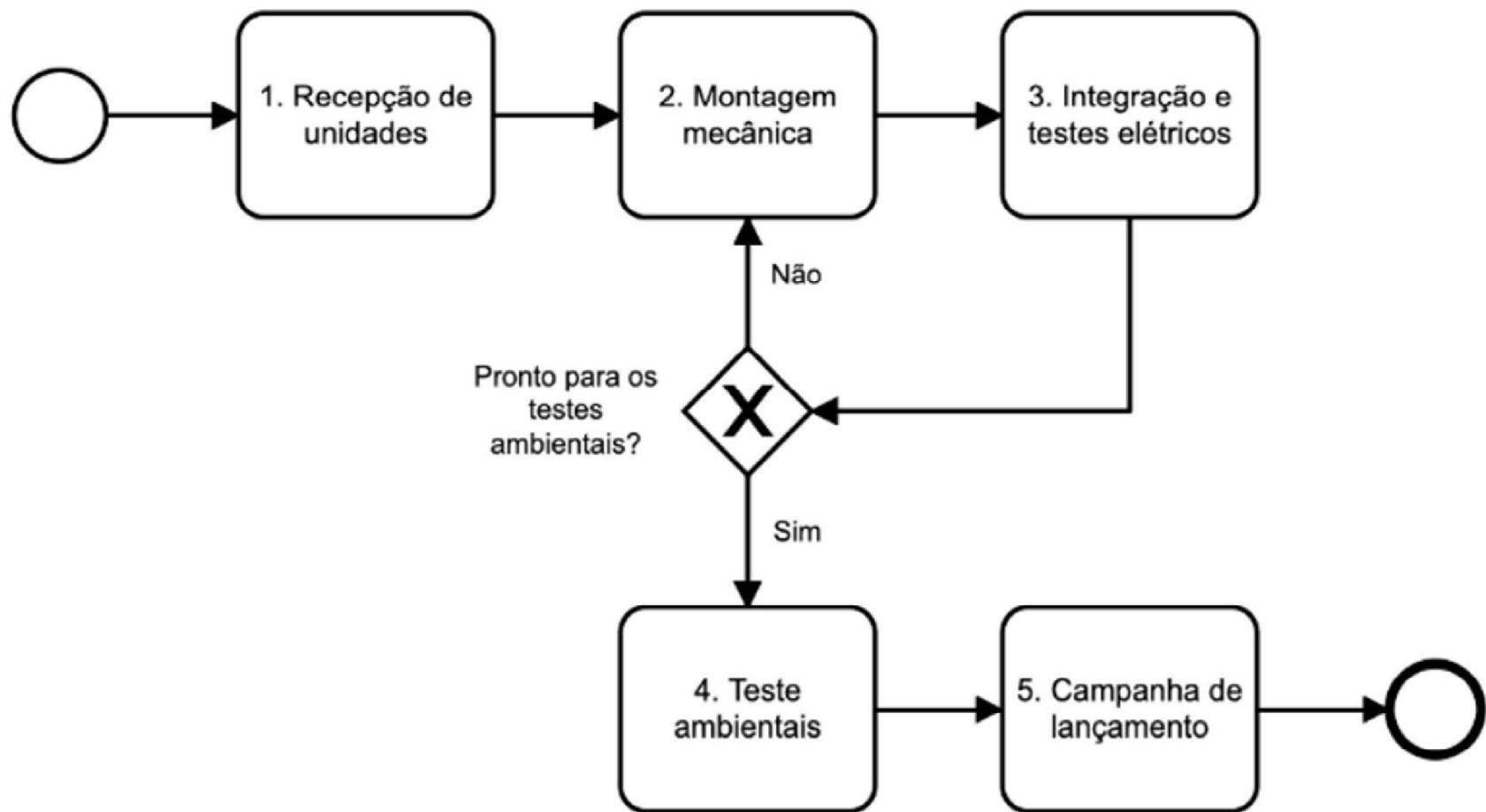


Figura 1- Típico processo de AIT de satélites

Fonte: Silva (2023)

No LIT/INPE, por exemplo, muitas dessas informações estão contidas em documentos. A equipe de AIT utiliza uma série de ferramentas para ajudá-la a gerenciar esses documentos, as diversas tarefas que devem realizar e todas as informações que fluem por todo o processo de AIT. Essas ferramentas incluem sistemas de gerenciamento de documentos, planilhas e banco de dados locais. São ferramentas desconectadas, dedicadas a pontos específicos do processo, o que dificulta o acesso à informação e exige grande esforço da equipe para manter a consistência das informações.

O papel do sistema de informação é apoiar o processo de AIT armazenando, processando e provendo essas informações, com as vantagens de eliminar retrabalho, reduzir inconsistências, facilitar o compartilhamento de informações e criar uma base de conhecimento que estará disponível para a organização independentemente da rotatividade da equipe.

### 3.2. ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS (SCE)

A SCE, representada na Figura 2, é uma abordagem para engenharia de sistemas complexos que antecipa os requisitos dos processos do ciclo de vida para os estágios iniciais do desenvolvimento do produto, e preocupa-se não somente com desenvolvimento do produto, mas também com o desenvolvimento das organizações que executam os processos do ciclo de vida desse produto (LOUREIRO et al., 2018).



Figura 2 - Framework da SCE

Fonte: Traduzida e adaptada de Loureiro et al. (2018)

A dimensão de análise inclui os subprocessos do processo de Engenharia de Sistemas que são aplicados aos elementos de cada camada da estrutura de decomposição do produto e da organização.

A dimensão de integração contém os elementos que devem ser integrados na solução sistema (elementos do produto e da organização).

Com base em uma declaração de missão, a SCE propõe que sejam identificados os processos do ciclo de vida do sistema de interesse. Processos podem ser desdobrados em cenários. As análises da dimensão de análise são realizadas para cada processo ou cenário.

### 3.3. INFLUÊNCIAS DA SCE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O PROCESSO DE AIT DO SATÉLITE AMAZONIA1

A seguir são apontadas influências das análises propostas pela SCE no desenvolvimento de um sistema de informação para apoiar o processo de AIT do satélite Amazonia 1.

#### ANÁLISES DE STAKEHOLDERS E DE REQUISITOS

Na Análise de *Stakeholders*, são identificados os *stakeholders* do sistema espacial e seus *concerns* (desejos, vontades, objetivos, interesses, preocupações). *Concerns* são desdobrados em necessidades e as necessidades em requisitos de *stakeholder*. A Figura 3 ilustra esse procedimento para o cenário de Ensaio Ambientais do Amazonia 1.

O cenário de Ensaio Ambientais é um desdobramento do processo de AIT. Nesse cenário o satélite é exposto a condições controladas em laboratório com o objetivo de verificar e garantir a sua capacidade de suportar as condições ambientais em todas as fases de sua vida útil, desde o momento do lançamento até o término previsto de sua operação em órbita (INPE/LIT, 2022). Entre os ensaios realizados nesse cenário estão os ensaios de vibração, que são referenciados na Figura 3.

Dos requisitos de *stakeholder* são derivados os requisitos de sistema.



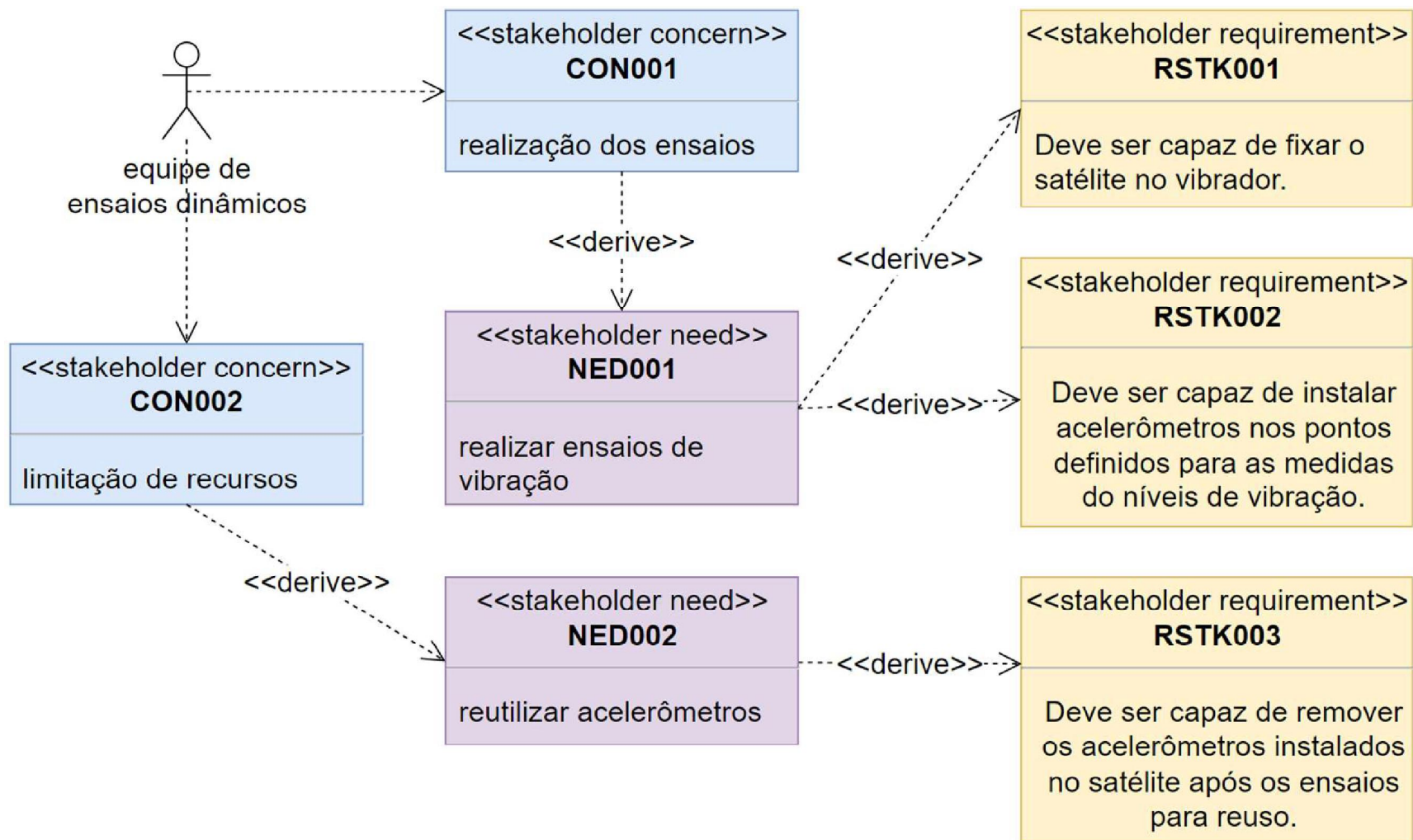


Figura 3- Desdobramento de *concerns* em requisitos de stakeholder

Os *concerns*, necessidades e requisitos relacionados ao sistema espacial, expressos nesses modelos, também influenciam o sistema de informação.

Por exemplo, para o requisito RSTK001, o engenheiro de software entende que procedimentos para fixação do satélite sobre a mesa vibratória deverão estar disponíveis no sistema de informação. Já os requisitos RSTK002 e RSTK003 sinalizam para o engenheiro de software que funcionalidades para controle da instalação e remoção de acelerômetros devem estar disponíveis no sistema de informação.

## ANÁLISE FUNCIONAL

A análise funcional resulta em uma descrição da estrutura funcional e do comportamento funcional requeridos para o sistema. A estrutura revela uma visão estática das funções do sistema, enquanto o comportamento está preocupado com a execução temporal, lógica, causal e condicional das funções.

A Figura 4 ilustra a estrutura funcional da organização, focando no fluxo de informações de alto nível entre as macro funções. Esses modelos expressam para o engenheiro de software a necessidade de informação dos atores do processo. O sistema de informação deve ser moldado para que essas informações estejam disponíveis nele.

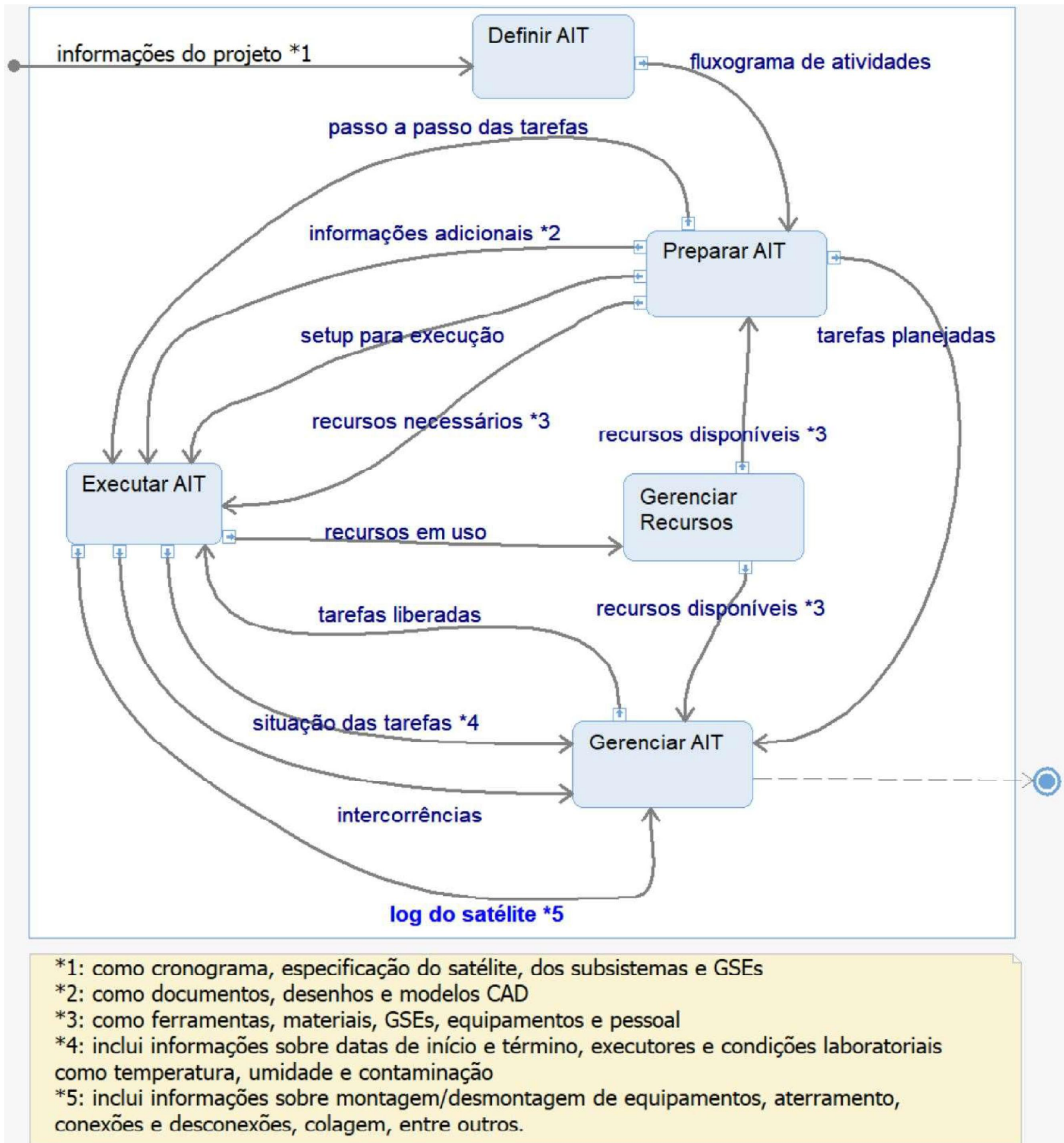


Figura 4 – Modelo da estrutura funcional da organização



Por exemplo, olhando para o fluxo “log do satélite”, o engenheiro de software consegue identificar informações que devem ser disponibilizadas pelo sistema de informação, como equipamentos montados no satélite numa determinada data, quantidade de conexões de um dado conector, histórico de montagens/desmontagens, histórico de conexões/desconexões.

A Figura 5 ilustra uma pequena parte do comportamento funcional da organização. Modelos do comportamento funcional expressam a forma como os processos são executados na organização no que diz respeito à sua execução temporal, lógica, causal e condicional. O comportamento funcional da organização, além de apontar atividades a serem apoiadas pelo sistema de informação, aponta também regras de negócio a serem implementadas.

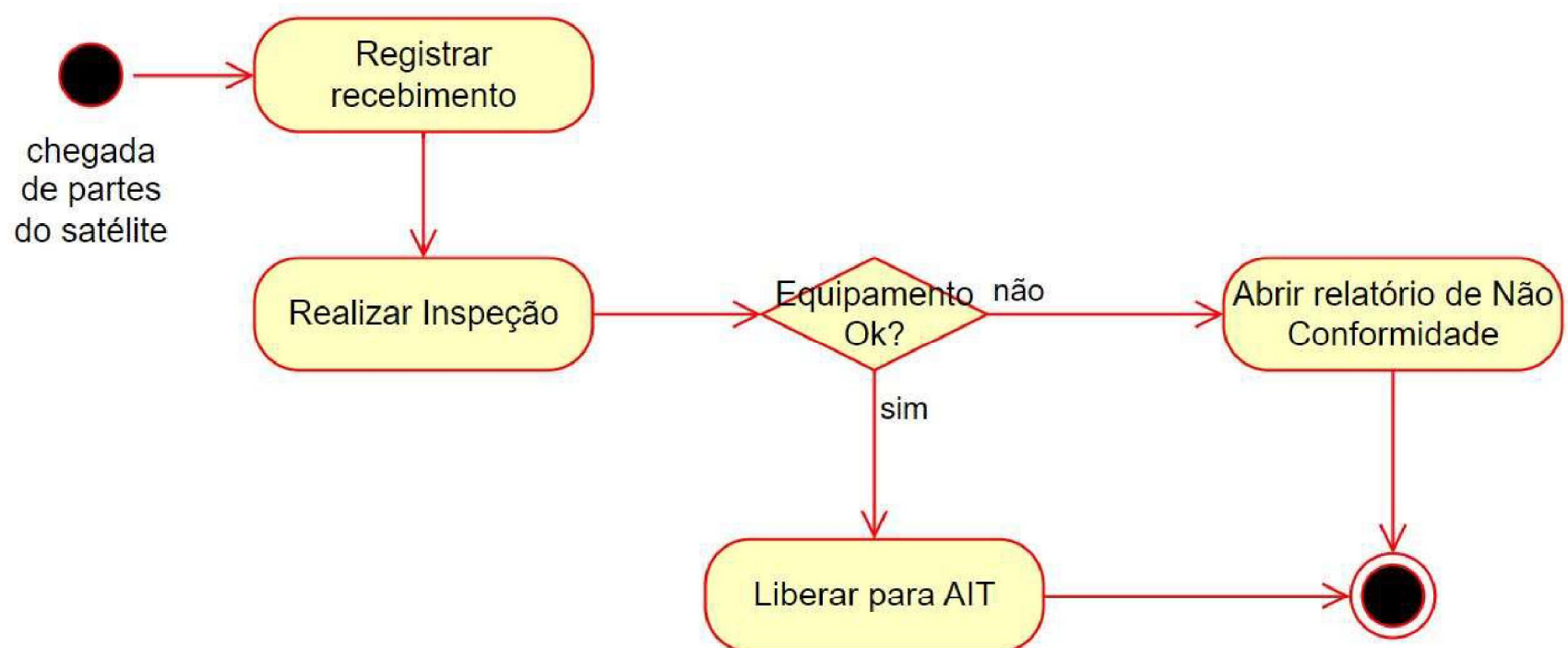


Figura 5 – Modelo do comportamento funcional da organização

Um exemplo de regra de negócio identificada no modelo de comportamento da organização ilustrado na Figura 5 e de sua implementação no sistema de informação:

- Regra de negócio: equipamento não pode ser montado no satélite se não tiver sido aprovado na inspeção.

- Implementação: sistema alerta se o equipamento informado durante registro de atividade não foi aprovado em inspeção.

Quanto a análise funcional do produto, ela tem pouco potencial de influenciar o sistema de informação, já que o funcionamento do produto não está na área de atuação do sistema de informação.

## ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO

Na análise de implementação, os requisitos de sistema são alocados para elementos físicos (como equipamentos e elementos de infraestrutura), lógicos (como softwares) ou organizacionais (como equipes de trabalho), resultando em uma arquitetura de implementação.

Os modelos resultantes dessa análise descrevem os itens necessários para desempenhar as funções do sistema.

No caso do satélite, subsistemas, componentes e softwares destinados a desempenhar as funções definidas nos modelos funcionais do produto.

No caso da organização, tanto a estrutura física (prédios, salas, câmaras etc.), quanto a estrutura organizacional (departamentos, equipes etc.) podem ser modeladas.

A estrutura do produto influencia o sistema de informação, pois pode ser referenciada nele. No caso de AIT de satélites será referenciada para registrar ações como recebimento de partes, montagens, conexões etc. A estrutura física da organização também influencia, pois os espaços físicos e as câmaras de teste são itens que terão seu uso gerenciado no sistema de informação.

Esses modelos contribuem para a definição da estrutura de dados do sistema de informação e podem ser fonte de entrada para popular a base de dados.

A estrutura organizacional (como equipes designadas para desempenhar as funções), além de também contribuir com a estrutura e base de dados, aponta atores, papéis e informações relevantes para o controle de acesso ao sistema de informação.

#### **4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO**

Tanto na Engenharia de Sistemas, como na Engenharia de Software, existe um processo de compreensão e definição dos requisitos do sistema. O Conselho Internacional de Engenharia de Sistemas (INCOSE), destaca que esse processo constitui um esforço significativo dentro do processo do desenvolvimento do sistema (INCOSE, 2015).

No caso do desenvolvimento de satélites, no domínio da Engenharia de Sistemas esse esforço inclui a interação com os diversos *stakeholders* do sistema espacial para entendimento das suas necessidades e expectativas quanto ao produto a ser desenvolvido. O engenheiro de sistemas encarregado de desenvolver um satélite realiza uma série de atividades para entendimento dos requisitos, um esforço do qual as informações resultantes também interessam ao engenheiro de software, como foi demonstrado neste trabalho.

O fato é que o resultado do esforço realizado para a engenharia do sistema espacial tem muito significado também para a especificação dos sistemas de informação. Trabalhando isoladamente, o engenheiro de software despense um esforço também significativo para explorar os mesmos processos e cenários que são explorados no domínio da Engenharia de Sistemas, isso sinaliza a viabilidade de um trabalho conjunto entre os dois domínios.

Quanto as abordagens de engenharia de sistemas que elegemos para esta pesquisa, SCE e MBSE, mostraram-se apropriadas para o contexto deste trabalho pelos seguintes motivos:

- Na SCE os processos do ciclo de vida do produto são analisados desde o início do projeto, fornecendo informações em tempo hábil para o desenvolvimento de sistemas de informação que irão dar apoio a esses processos;
- A SCE aborda também o desenvolvimento das organizações que implementam os processos do ciclo de vida do produto, o que a torna uma fonte de informação mais

rica em comparação com as abordagens tradicionais de engenharia de sistemas que abordam apenas o desenvolvimento do produto.

- Quanto a MBSE, além de ser uma tendência para o desenvolvimento de sistemas espaciais (SILVA; LOUREIRO, 2020), o uso de modelos é uma prática familiar aos engenheiros de software, o que também favorece a integração entre os domínios da engenharia de sistemas e da engenharia de software.

Concluimos que os artefatos da Engenharia Simultânea de Sistemas resultantes do esforço do engenheiro de sistemas para desenvolver um satélite também contribuem com o engenheiro de software que trabalha para desenvolver sistemas de informação para apoiar processos do ciclo de vida desse satélite. Isso sugere que um trabalho simultâneo e colaborativo entre os dois domínios é viável e possibilita que o esforço realizado no domínio da engenharia de sistemas seja aproveitado e não repetido no domínio da engenharia de software.

## **5. AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ESA. **ECSS-M-ST-10C Rev.1: Space project management - Project planning and implementation.** Noordwijk. 2010.

INCOSE. **Incose Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities.** 4th. ed. [S.l.]: Wiley, 2015.

INPE. **INPE / Amazon Mission.** Disponível em: <<http://www.inpe.br/amazonia1/en/>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

INPE/LIT. **Ensaio Dinâmico**. 2022. Disponível em: <<http://www.lit.inpe.br/pt-br/vibracao>>. Acesso em: 13 jul.2022.

LOUREIRO, G.; PANADES, W. F.; SILVA, A. Lessons learned in 20 years of application of Systems Concurrent Engineering to space products. **Acta Astronautica**, v. 151, p. 44–52, out. 2018.

ROSING, M. v.; SCHEER, A.-W.; SCHEEL, H. v. **The complete business process handbook: body of knowledge from process modeling to BPM. Volume I**. Waltham, Ma: Elsevier, 2015. ISBN 978-0127999593.

SILVA, A. C.; LOUREIRO, G. Integrated development of space systems – design for ait - design for assembly, integration and testing of satellites - d4ait. In: **2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 590–594

SILVA, A. C. d. P.; LOUREIRO, G. Iniciativas de adesão à mbse na área espacial. In: RODRIGUES, A. C.; BARBOSA, A. L.; TEIXEIRA, A. F.; BATISTA, C. L. G.; OLIVEIRA, C. M. d.; CUELLAR, D. A. (Ed.). **Anais... do 11º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2020. ISSN 2177-3114.

SILVA, L. A. **TEPROM - FRAMEWORK DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS BASEADO EM MODELOS PARA TESTES FUNCIONAIS ELÉTRICOS EM SATÉLITES**. Tese (Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2023.