

## SYSML PARA ENGENHARIA SIMULTÂNEA DE SISTEMAS ESPACIAIS

*Maiara Guimarães Flausino, Geilson Loureiro*

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Laboratório de Integração e Testes, Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, CEP 12.227-010 - São José dos Campos – SP  
maiara.flausino@lit.inpe.br, geilson@lit.inpe.br

**Resumo-** Este trabalho tem por objetivo analisar, compreender e aplicar o método de engenharia simultânea de sistemas proposto por Loureiro (1999) em sua Tese de Doutorado. Para isso, foi utilizada a *Systems Modeling Language (SysML)* para modelar um sistema espacial. O produto espacial escolhido para ser modelado foi o Sistema CANSAT, composto por um Foguete, uma Estação Terrena e um Picossatélite, o qual foi utilizado como exemplo em situação de sala de aula. Este método consiste no desenvolvimento simultâneo do produto e das organizações que implementam os processos do ciclo de vida de um sistema ao longo de suas etapas, quais sejam, análise de *stakeholders*, análise de requisitos, análise funcional e arquitetura de sistemas.

**Palavras-chave:** SysML, Engenharia Simultânea de Sistemas, Modelagem Gráfica, Sistemas Complexos  
**Área do Conhecimento:** ENGENHARIAS

### Introdução

A engenharia simultânea de sistemas requer uma visão global de todas as fases do ciclo de vida de um produto. Evidência disto é a evolução dos conceitos desta abordagem adotados pelas indústrias automobilísticas e aeroespaciais no sentido de obter uma solução balanceada que considere as variáveis, como o tempo de desenvolvimento, o custo dos processos do ciclo de vida, o gerenciamento de risco, o desempenho de um produto e, ainda, atenda aos seus requisitos (LOUREIRO, 1999).

A evolução citada anteriormente consiste em analisar os *stakeholders*, os requisitos, o conceito funcional e a arquitetura de implementação, simultaneamente, para o produto, seus processos de ciclo de vida e suas organizações, atuando em todas as camadas da estrutura de divisão de um sistema complexo (LOUREIRO, 2011).

A técnica que facilita o entendimento da complexidade de um sistema é a modelagem, sendo ela um dos pilares da engenharia simultânea de sistemas, especialmente a modelagem gráfica, a qual permite ao profissional ter uma visão do todo, bem como identificar cada relacionamento existente num dado sistema.

A modelagem de um sistema possibilita realizar o rastreamento dos requisitos, os quais futuramente serão validados com os *stakeholders*, contribuindo de forma positiva ao desenvolvimento do projeto.

Para acompanhar a evolução técnico-científica, encontra-se em desenvolvimento uma nova linguagem de modelagem gráfica, a *Systems Modeling Language (SysML)*, a qual tem como objetivo principal padronizar os modelos de sistemas complexos.

Diante deste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar, compreender e aplicar o método de engenharia simultânea de sistemas proposto por Loureiro (1999) em sua Tese de Doutorado.

### Metodologia

A metodologia utilizada neste estudo envolveu diferentes momentos. No início, com base na análise crítica da literatura científica pesquisada, foi feita a extração de conceitos do referencial teórico sobre a *Systems Modeling Language (SysML)* e a engenharia simultânea de sistemas. Estes ofereceram os fundamentos a partir dos quais o Sistema CANSAT foi modelado.

A realização deste trabalho ocorreu entre agosto de 2011 e julho de 2012. Durante esse período de pesquisas e estudo contínuo, através da revisão bibliográfica, leitura de artigos e revistas científicas da área, sobre a linguagem SysML, foram investigadas suas características, seus diagramas, suas utilidades e suas perspectivas de uso.

Durante o processo de aprendizagem, foi realizada uma vasta pesquisa sobre as ferramentas, que servem para modelar na linguagem SysML, sendo que o uso de cada *software* deu-se com a licença gratuita para testes.

Depois da fase de pesquisa e consolidação dos conhecimentos adquiridos, foi dado início ao desenvolvimento do *template* que tem por objetivo contribuir ao entendimento da aplicação do método de engenharia simultânea de sistemas proposto por Loureiro (1999).

Desta forma, para colocar em prática o aprendizado da linguagem SysML e realizar o *template*, foi necessário o treinamento da ferramenta *IBM Rational Rhapsody*, o qual se deu através de manuais de usuários, tutoriais virtuais e também da participação em foruns *online*.

E como resultado apresentado neste trabalho, o *software* utilizado foi o *IBM Rational Rhapsody*, versão completa, disponível no Laboratório de Engenharia de Sistemas (LSIS) do Laboratório de Integração e Testes (LIT).

### Engenharia Simultânea de Sistemas

A engenharia simultânea de sistemas, abordagem usada para modelar o *template* deste trabalho, antecipa os requisitos dos processos do ciclo de vida de um sistema (Figura 1) para as etapas iniciais do seu desenvolvimento. Essa antecipação facilita a implementação de um produto diminuindo os riscos e os custos envolvidos e aumentando a chance de se obter sucesso no final do projeto, já que setenta por cento do custo do ciclo de vida de um produto é empregado no início do seu desenvolvimento (LOUREIRO, 2011).

Processos de Ciclo de Vida	Cenários dos Processos de Ciclo de Vida
Desenvolvimento	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Desenvolvimento de um modelo completo de certificação</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Melhorias e correções no modelo de certificação</div> </div>
Implantação	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Implantação do modelo de certificação na organização certificadora</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;">Implantação do modelo de certificação nos stakeholders</div> </div>
Execução	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Abertura de processos de certificação</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Análise de processos de certificação</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Condução de processos de certificação</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 20%;">Finalização de processos de certificação</div> </div>
Suporte	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Manutenção - Correção - Melhorias</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Treinamento e reciclagem</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;">Suporte de informações</div> </div>
Desacerto	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100%;">Gerenciamento da configuração do processo de certificação</div>

Figura 1 - Ciclo de vida do produto e seus cenários.  
Fonte: Loureiro (Notas de aula, 2011).

### Systems Modeling Language (SysML)

Devido a evolução das tecnologias dos diversos setores, houve um grande aumento na complexidade de seus produtos. Diante desta situação, foi proposta uma nova linguagem de modelagem gráfica a *Systems Modeling Language (SysML)*, a qual está sendo desenvolvida pelo *OMG (Object Management Group)* e pelo *INCOSE (International Council on Systems Engineering)*.

A linguagem SysML tem como propósito geral analisar, especificar, projetar, verificar e validar sistemas complexos, sendo que nesses sistemas podem estar incluídos *hardwares*, *softwares*, pessoas, facilidades e outros elementos (FRIEDENTHAL, 2009).

A partir de 2007, ferramentas computacionais que implementam esta linguagem passaram a estar disponíveis no mercado mundial.

A linguagem SysML derivou-se da *Unified Modeling Language (UML)* usada exclusivamente para modelar *softwares* de alto desempenho, sendo que quatro diagramas da linguagem UML permaneceram com as mesmas características e os outros cinco foram criados e adaptados para serem capazes de modelar os sistemas complexos na linguagem SysML, como mostra a Figura 2, formando os nove diagramas da desta linguagem. Ela já permite a descrição consistente de sistemas entre os diferentes tipos de profissionais do mesmo projeto, como, engenheiros de software, mecânicos e eletricitas.



Figura 2 - Diagramas da linguagem SysML.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

A linguagem SysML considera as características no domínio de um sistema em diferentes níveis de abstração, possibilitando a rastreabilidade de requisitos, a modelagem de sua estrutura e de seu comportamento, bem como o formalismo paramétrico para especificar suas equações.

Desta forma, permite modelar o ciclo de vida completo de um sistema de alta tecnologia em projetos relacionados à engenharia simultânea de sistemas desde a sua fase de projeto até a sua análise e melhoria contínua, sendo assim, com a linguagem SysML é possível modelar e documentar todos processos propostos por Loureiro (1999), garantindo a visão sistêmica do seu método.

## Resultados

Este trabalho aplicou a abordagem de engenharia simultânea de sistemas, usando a linguagem SysML, na construção de um *template*. Esta abordagem proposta por Loureiro (1999) deve ser aplicada em todos os níveis de abstração de um produto complexo.

Para realizar a análise do Sistema, garantindo a compreensão de todos os seus subsistemas e elementos foi necessário considerar dois tipos de pensamentos: a) Hierárquico, o qual organiza os elementos em cada nível de um sistema. b) Sistêmico, o qual ajuda na análise funcional, uma vez que um sistema depende das relações entre seus componentes.

Estes dois tipos de pensamento devem ser o mais abstrato possível, isto é, deve-se pensar de maneira funcional, por exemplo, muitas vezes o *stakeholder* pede um manômetro, mas o que ele precisa realmente é de um simples objeto que meça a pressão de um fluido.

A linguagem SysML segue o paradigma de orientação a objeto, permitindo criar, segundo a norma da própria linguagem, novos estereótipos de elementos, de relações e de digramas. Essa característica faz com que ela não seja prescritiva.

Usando esta propriedade da linguagem, neste trabalho foi criado o Diagrama de Contexto, a partir do Diagrama de Definição de Blocos, já existente na linguagem SysML, para identificar os *stakeholders* do Sistema CANSAT.

O Diagrama de Contexto pode ser usado também para representar tanto o contexto funcional como o contexto físico de um produto. Foi criado este diagrama dada a importância dos *stakeholders* no processo de engenharia simultânea de sistemas.

Por isso, é importante valorizar os dados que o *stakeholder* oferece em suas respostas. E para extrair o máximo de dados é importante perguntar várias vezes sobre o mesmo assunto, de maneira sistemática, pois é a partir desse processo que a necessidade do *stakeholder* será capturada.

Apresenta-se a seguir as principais características deste novo estereótipo de diagrama, o Diagrama de Contexto: a) Apresenta um conjunto de elementos relacionados para um determinado propósito, como especificar um *stakeholder*. b) Define o ambiente em que o sistema vai pertencer, demonstrando as suas características. c) É composto por fluxos de material, energia e informação, que mostram as interfaces entre o sistema e as entidades externas. d) Permite identificar os limites dos processos, as áreas envolvidas com o processo e os relacionamentos com outros processos e elementos externos à empresa (ex.: *stakeholders*).

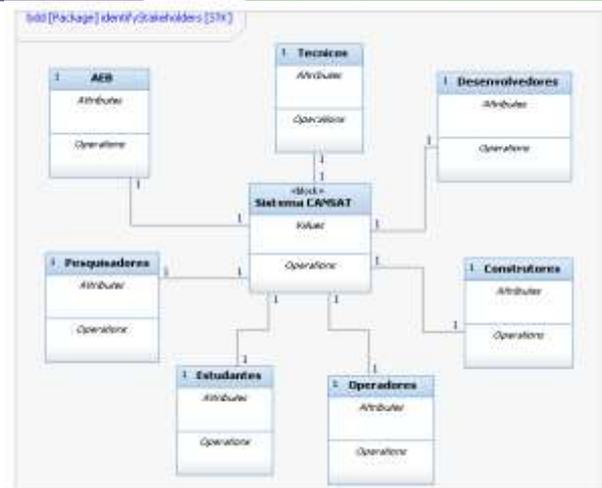


Figura 3 - Stakeholders do Sistema CANSAT.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

## Discussão

Com a duração de um ano de atividades, esta pesquisa teve como resultado a primeira versão do *template* da modelagem do Sistema CANSAT. Muitas adaptações foram e serão ainda necessárias para a completa realização deste *template*, pois o método utilizado foi inicialmente modelado com base na Análise Estruturada, ou seja, os modelos originais refletem diretamente a linguagem estruturada, separando os registros (dados) das funcionalidades (procedimentos e funções).

O *template* desenvolvido foi realizado no *software IBM Rational Rhapsody*. Foi necessário usar uma ferramenta computacional devido à organização de sua hierarquia, pois o nível de detalhamento do produto pode ser elevado, ao apresentado neste trabalho, chegando a especificar os seus componentes, isto é, conhecer todo o conjunto de interfaces de um sistema.

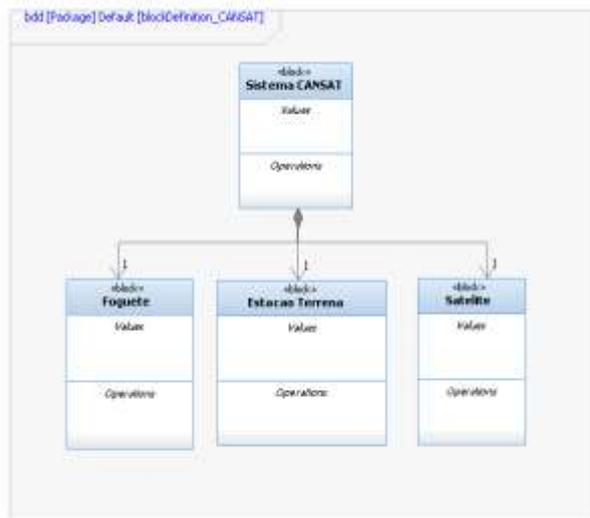
Os diagramas modelados através de uma ferramenta computacional contêm vantagens em relação a uma simples figura, como, a geração de código automaticamente e a substituição de documentos (páginas descritivas) da área técnica da engenharia simultânea de sistemas em modelos gráficos, o qual servirá como base para realizar simulações dos modelos.

Com a modelagem apresentada, é possível visualizar o todo de maneira organizada, facilitando a análise do sistema, tanto da parte comportamental quanto da estrutural, além dos requisitos e parâmetros do produto espacial.

É importante ressaltar que o resultado apresentado neste trabalho abrangeu a modelagem, usando a linguagem SysML, do segmento da Estação Terrena do Sistema CANSAT.

**Sistema CANSAT**

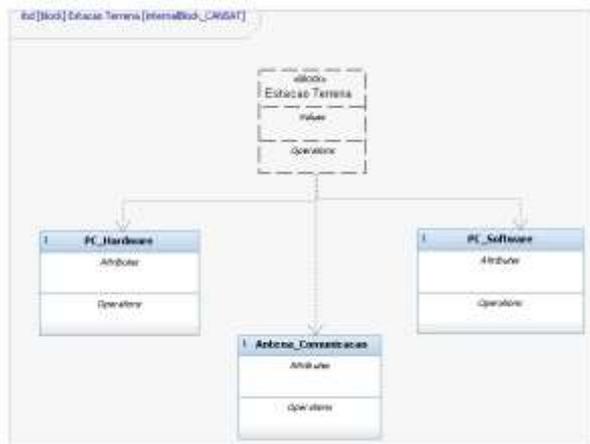
O modelo apresentado na Figura 4 ilustra o Sistema CANSAT e seus subsistemas (Foguete, Estação Terrena e Picossatélite). Esta Figura foi modelada, a partir do Diagrama de Definição de Blocos, já que visa representar a parte estrutural do Sistema, o qual representa seus componentes e seus relacionamentos.



**Figura 4 - Sistema CANSAT.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Estação Terrena e seus Subsistemas**

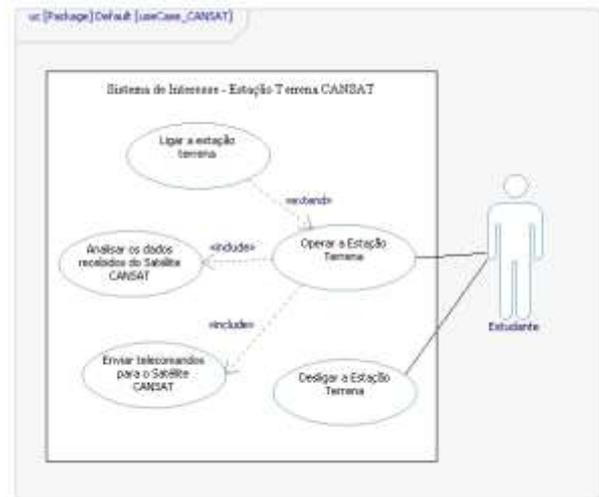
No diagrama da Figura 5 foi dado um zoom no bloco da Estação Terrena da Figura 4, mostrando os seus subsistemas. Neste caso, foi usado um Diagrama de Bloco Internos, o qual permite um maior detalhamento em relação ao bloco apresentado no Diagrama de Definição de Blocos, expressando suas partes e seus relacionamentos, isto é, demonstra a hierarquia entre o Sistema e seus subsistemas.



**Figura 5 - Estação Terrena e seus Subsistemas.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Casos de Uso da Estação Terrena**

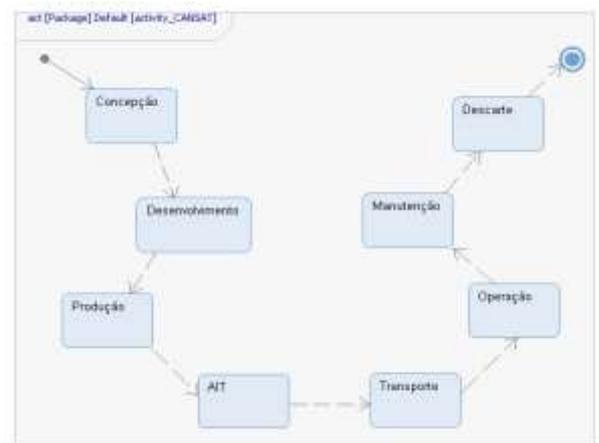
A fim de identificar os requisitos e distinguir as funções básicas de um sistema, o Diagrama do Caso de Uso (Figura 6) é o mais indicado, pois possui uma sintaxe simples. Geralmente este tipo de diagrama é usado na fase de validação de um sistema com os *stakeholders*.



**Figura 6 - Casos de Uso da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Ciclo de Vida da Estação Terrena**

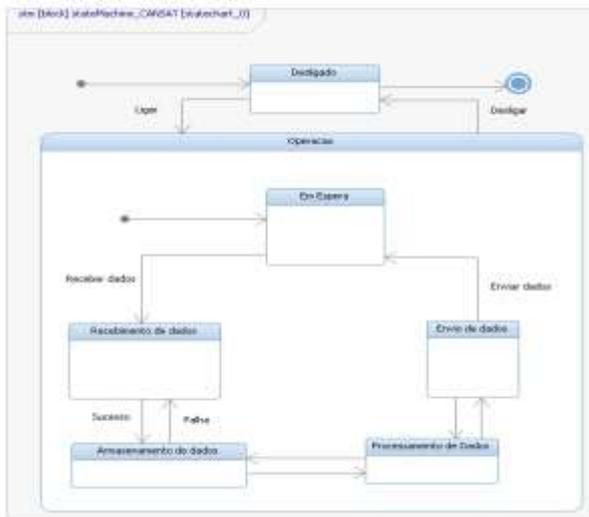
A seguir será apresentado o ciclo de vida da Estação Terrena do Sistema CANSAT (Figura 7). A modelagem seguiu o pensamento sistêmico e hierárquico. Com isso, os cenários foram modelados em um Diagrama de Atividades, pois expressa o comportamento do produto espacial, uma vez que o comportamento denota dinâmica de um elemento, por exemplo, a operação de um sistema. A modelagem dos cenários é importante, porque é através dela que se pode derivar mais requisitos de sistema.



**Figura 7- Ciclo de Vida da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Estados da Estação Terrena**

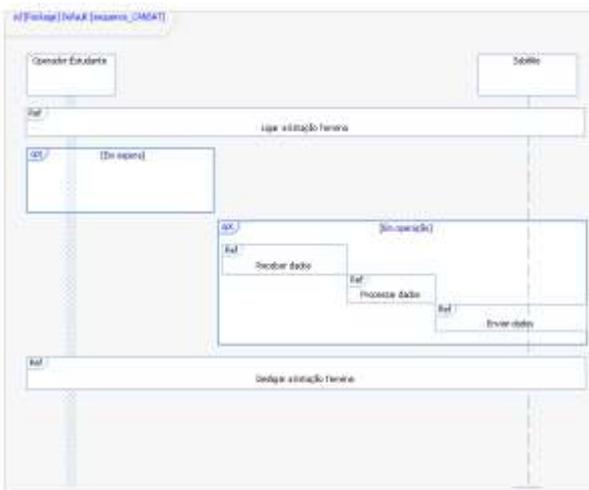
O Diagrama de Máquina de Estados descreve o comportamento de um sistema (Figura 8). O estado de um sistema é um conjunto de circunstâncias ou atributos que o caracterizam em certo período, sendo que a transição de estados é a mudança de estado para outro.



**Figura 8 - Estados da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Operação da Estação Terrena**

O Diagrama de Sequência utilizado para modelar o cenário de operação do ciclo de vida da Estação Terrena (Figura 9) descreve o fluxo de controle entre o operador, neste caso o estudante, e o Picossatélite. Este diagrama evidencia quais são os eventos que ocorrem em um determinado processo, mostrando os elementos envolvidos nos disparos dos eventos e a ordem em que são realizados.

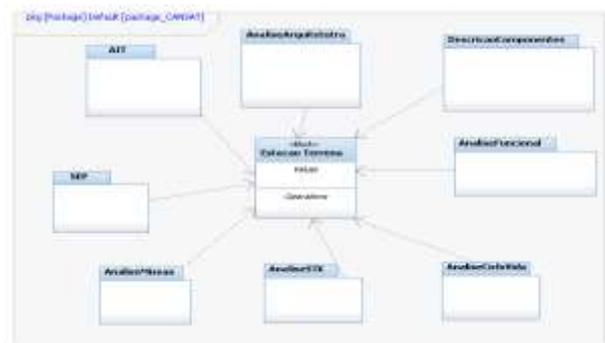


**Figura 9 - Operação da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Processos da Engenharia Simultânea de Sistemas da Estação Terrena**

A Figura 9 mostra a organização das etapas de engenharia simultânea de sistemas por pacotes. Pois, na linguagem SysML, o Diagrama de Pacotes deve ser usado para organizar a estrutura de um sistema ou organização, antes da criação de seus diagramas, para assegurar que a modelagem seja fiel à realidade observada.

Sintetizar é um processo lento e complexo, sendo que construir modelos é fazer sínteses da realidade. Em razão disso, o problema deve ser estudado e estruturado logo no início do projeto.



**Figura 10 – Processos da Engenharia Simultânea de Sistemas da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores.

**Parâmetros da Estação Terrena**

A Figura 11 ilustra a equação de fluxo de dados trocados entre o Picossatélite e a Estação Terrena do Sistema CANSAT, através do Diagrama Paramétrico, o qual mostra os atributos sobre as propriedades do Sistema, auxiliando em sua análise.

Os modelos paramétricos capturam as propriedades restritivas do sistema, para serem analisadas por ferramentas de análise apropriadas. As restrições são apresentadas por equações, cujos parâmetros estão vinculados às propriedades do sistema (FRIEDENTHAL, 2009).



**Figura 11 - Parâmetro do fluxo de dado da Estação Terrena.**  
Fonte: Elaborado pelos autores

## Requisitos da Estação Terrena

O processo de elicitación e análise de requisitos recebe na entrada os dados fornecidos pelo *stakeholder* e fornece como saída um conjunto de requisitos documentados e priorizados de um sistema. A modelagem de requisitos pode ser feita na linguagem SysML, pois esta dá suporte a este processo.

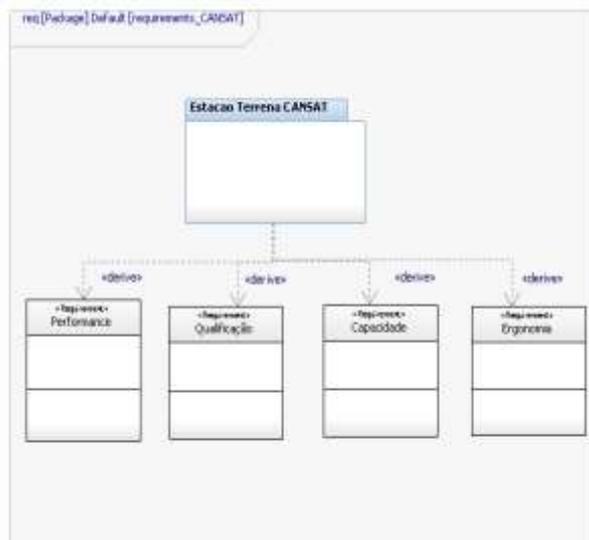


Figura 12 - Requisitos da Estação Terrena.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

## Conclusão

Este trabalho realizou a modelagem da primeira versão do *template*, utilizando a linguagem SysML, de um produto espacial seguindo o método de engenharia simultânea de sistemas propostos por Loureiro (1999).

A engenharia simultânea de sistemas tem se tornado cada vez mais requisitada nas empresas, organizações e instituições, devido à evolução das tecnologias de implementação e ao aumento da complexidade dos próprios sistemas. Logo, novos métodos têm sido desenvolvidos na tentativa de diminuir custos, riscos e tempo gastos nas etapas de modelagem e desenvolvimento do projeto.

Diante deste cenário, os engenheiros de sistemas devem ser capazes de traduzir a necessidade dos *stakeholders* em requisitos do sistema.

Para ter uma modelagem eficaz, que permita ao analista compreender o funcionamento de um sistema, é preciso uma ferramenta computacional, que ofereça as funções necessárias para tal atividade. Apenas com este recurso é possível fazer controles de versões, realizar análises estruturais ou comportamentais do modelo, além de organizar e disponibilizar objetivamente as informações do sistema.

O *software* possibilita também o rastreamento de requisitos, garantindo que durante o processo de engenharia simultânea de sistemas qualquer mudança no projeto seja comunicada aos envolvidos, demonstrando qual a parte do sistema que será afetada com as suas atualizações.

A linguagem SysML constitui um grande auxílio no desenvolvimento de produtos complexos, pois apresenta benefícios valiosos para um projeto como: a alteração do modelo de um projeto com menor custo, a facilidade de documentação de um sistema, a reutilização de módulos já desenvolvidos, a rapidez na detecção de erros no início do projeto, garantia do entendimento do sistema por todos os responsáveis do projeto, a redução do tempo gasto nas etapas de concepção e a validação e teste de um sistema.

Uma ressalva a ser feita é que a linguagem SysML só se torna completa com a criação de novos estereótipos, o qual possui grande potencial ainda a ser desenvolvido.

Como conclusão, tem-se ainda que a linguagem de SysML ainda precisa de adaptações. No entanto, ela já possui os recursos suficientes para uma primeira versão do *template* com base no método proposto por Loureiro (1999), pois esta linguagem permite ao profissional que sejam criados novos tipos de diagramas, já que se trata de uma linguagem não prescritiva.

Estes comentários não se esgotam nesta pesquisa, sendo necessária a continuação da investigação deste novo padrão de modelagem. Portanto, sugere-se a atualização deste *template*, tendo em vista que o LSIS deverá usá-lo em suas atividades de análise sistêmica para atividades do LIT.

## Agradecimento

Agradecemos ao CNPq/INPE pela bolsa de Iniciação Científica concedida.

## Referências

- FRIEDENTHAL, S.; MOORE, A.; STEINER, R. **A practical guide to SysML: the systems modeling language**. The MK/OMG Press. Elsevier. Amsterdam, 2009.
- LOUREIRO, G. **Engenharia de sistemas**. 2011. São José dos Campos. ITA. Notas de aula do curso de graduação de Engenharia Aeroespacial. ITA, 2011.
- LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. 1991. (PhD Thesis) - Loughborough University, Loughborough, UK. 1999.