



## Desenvolvimento de uma abordagem para análise de riscos em fase conceitual de sistemas espaciais

COSTA, L. L.<sup>1</sup>, DE SOUSA, F. L.<sup>2</sup>, CHAGAS JUNIOR, M. DE F.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Doutorado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais – CSE/ETE

<sup>2</sup> Divisão de Sistemas Espaciais - DISIS/COETE

<sup>3</sup> Núcleo de Inovação Tecnológica - NUNIT/COGCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

lucas.costa@inpe.br

---

**Resumo.** A fase de concepção de sistemas espaciais é característica por apresentar grande incerteza e as ferramentas atualmente utilizadas para avaliação de risco em ambientes de Engenharia Simultânea como o CPRIME e Team-X enfrentam diversos desafios quanto o estabelecimento de uma metodologia efetiva de identificação, avaliação e comunicação de riscos das soluções de missão espaciais identificados nos estudos. Os resultados da disciplina risco suportam o processo de tomada de decisão dos demandantes do estudo e devem apresentar com objetividade os fundamentos dos riscos identificados. Este artigo apresenta os fundamentos que justificam o desenvolvimento de uma abordagem para análise de riscos e discussões sobre sua constituição. Conclui-se que as características levantadas são importantes para auxiliar tomadores de decisão quanto aos riscos identificados ao longo de estudos de concepção de missões espaciais e devem compor a análise de riscos.

---

**Palavras-chave:** Sistemas espaciais; Fase conceitual; Risco.

### 1. Introdução

O risco no desenvolvimento de sistemas espaciais é uma disciplina transversal e possui interface com todas as áreas necessárias ao desenvolvimento de um projeto. Além de atuar em todo o ciclo de vida do sistema. O gerenciamento da disciplina risco normalmente é parte do Gerenciamento do Projeto (ECSS, 2008; NASA, 2011) e suas diretrizes estão definidas em uma política, seja institucional ou específica para determinada aplicação. Pode-se distinguir o uso da disciplina risco em dois objetivos distintos: gestão de riscos e tomada de decisão, que mudam o processo de atuação da disciplina.

Segundo (NASA, 2016) a fase conceitual de desenvolvimento de sistemas espaciais tem como objetivo produzir um espectro abrangente de ideias e alternativas para missões das quais novos projetos podem ser selecionados. Para isso são determinados: conceitos do sistema desejado, conceito de missão, requisitos preliminares do sistema, avaliação inicial



da viabilidade de desempenho, custo e cronograma, identificação das necessidades de potenciais tecnologias e riscos.

Com o objetivo de suportar a definição de conceitos de sistemas viáveis, a disciplina risco normalmente é inserida na fase de concepção. A aplicação de processos de análise de risco nesta fase tem como principal objetivo a identificação de eventos que podem gerar consequências que afetam os objetivos ou restrições da missão, permitindo modificações nos conceitos, o mais cedo possível, ou para conhecimento das vulnerabilidades das diferentes alternativas. Estas informações devem alimentar o processo de tomada de decisão e também podem ser entradas para o processo de gerenciamento de risco a ser implantado no projeto que acompanhará todo o ciclo de vida do sistema.

O *Innovation Foundry* (IF) do *Jet-Propulsion Laboratory* (JPL-NASA), criado em 2011, integra métodos, ferramentas e especialistas que abrangem a fase de concepção do ciclo de vida de uma missão espacial. Fundado na herança de missões, instrumentos de voo, propostas de missão e conceitos inovadores, o IF busca prover continuamente suporte com custo efetividade, acesso sob demanda dos especialistas e momento corretos, enquanto times de definição científica e Principais Investigadores (PIs) amadurecem as ideias da missão desde “rascunho de guardanapo” até a Revisão de Projeto Preliminar (*Preliminary Design Review* - PDR). O IF mistura as capacidades do JPL em desenvolvimento de propostas e engenharia simultânea, incluindo o Team-X, com novas abordagens para exploração de conceitos não finalizados em fases iniciais com restrições de custo e, com projetos de pesquisa e tecnologia em andamento. O IF aplica modelos de complexidade e custos, lições aprendidas na formulação de projetos e análise de estratégias apropriadas para cada nível de maturidade de conceito (*Concept Maturity Level* - CML) (SHERWOOD; MCCLEESE, 2011, 2013).

Segundo Ziemer et al. (2016) em 2011 uma nova abordagem colaborativa de engenharia para formulação inicial de conceito foi introduzida no JPL, chamada A-Team. Em resposta a necessidade de explorar *trades* no nível de arquitetura da missão, o A-Team precede o Team-X em uma sequência de times de engenharia simultânea no JPL que pode ser utilizada para maturar o conceito de “rascunho de guardanapo” até o ponto de projeto completo de uma missão espacial (CML3).

No Team-X, a metodologia de risco foi introduzida em 2001. Esta disciplina foi criada, pois os times de engenharia simultânea sofriam frequentemente uma grande pressão dos PIs e gerentes para serem otimistas com estimativa de custos e com o tempo necessário para tecnologias emergentes. Outro fator de contribuição foi a preocupação do time de engenharia com relação à necessidade de capturar de forma sistemática os riscos da missão, cronograma e custo (HIHN et al., 2010; HIHN; CHATTOPADHYAY; SHISHKO, 2010, 2012).

O foco da análise de risco no Team-X não é em gerenciamento de risco, mas muito em identificação e avaliação inicial. Normalmente não há análises utilizando FTA (*Fault Tree Analysis*), ETA (*Event Tree Analysis*), PRA (*Probabilistic Risk Assessment*) ou outros métodos formais. Existem poucos dados quantitativos que são acessíveis durante o estudo para prover base às estimativas de risco. A geração de listas de risco consistentes com as entradas de todos os subsistemas relevantes e apresentando os resultados claramente aos *stakeholders* é difícil devido a velocidade na qual decisões são tomadas e o ambiente



caótico semi-organizado do Team-X. Frequentemente a velocidade do estudo é tão alta que não é possível revisar formalmente os riscos para cada opção enquanto o estudo avança, mas somente no final (HIHN et al, 2012).

O INPE atua no desenvolvimento de sistemas espaciais desde os anos 70 e algumas iniciativas vem sendo exploradas a fim de aprimorar a abordagem de desenvolvimento das missões, como o Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais (CPRIME), um ambiente integrado de projeto e análise conceitual de missões espaciais que utiliza a abordagem de engenharia simultânea.

A disciplina Risco é parte integrante do CPRIME e enfrenta diversos desafios quanto o estabelecimento de uma metodologia efetiva de identificação, avaliação e comunicação de riscos para as soluções de missão identificadas nos estudos.

Neste contexto surgiu a necessidade de realização de um trabalho de pesquisa que configura a motivação principal deste trabalho. O trabalho apresentado no evento WETE 2018 (COSTA; DE SOUSA, 2018) apresenta as técnicas e resultados obtidos desde a implementação da disciplina Risco no CPRIME.

As abordagens utilizadas geraram resultados (riscos ou preocupações identificados), porém notam-se inconsistências, diferentes formas e profundidades de avaliação dos riscos e a necessidade de uniformização de conceitos.

Problemas semelhantes também foram relatados em outros centros de engenharia simultânea. Hihn, Chattopadhyay e Shishko (2012) apontam problemas enfrentados no Team-X como grande variância na qualidade de documentação dos riscos, falta de rigor no processo de identificação de riscos que levam a inconsistência na identificação e avaliação de riscos similares em diferentes estudos, problemas no estabelecimento das categorias de probabilidade e impacto quanto a postura de risco de diferentes missões, precisão de cada nível e avaliação dos engenheiros.

Em contato com engenheiros do JPL (Dr. Robert Shishko, Dr. Jairus Hihn), que atuam na disciplina risco do Team-X, foi informado que os últimos estudos realizados para melhorias da abordagem de risco no ambiente de engenharia simultânea foram apresentados nos eventos NASA Cost Symposium em 2013 (ROSENBERG; HIHN; LUM, 2013) e ISPA/SCEA Southern California Chapter Workshop 2011 (HIHN; CHATTOPADHYAY; VALERDI, 2011) onde uma forma de capturar o modelo mental (cognitivo) de engenheiros foi explorado, porém não foi informado sobre sua utilização na disciplina Risco.

O caminho utilizado pelo JPL para tentativa de melhoria do processo de risco no Team-X foi a integração da psicologia de risco. Os trabalhos realizados por Lynne Cooper (COOPER, 2008, 2011) apresentam a pesquisa desenvolvida no sentido de entender como times de engenheiros entendem risco e como funciona o processo de formação compartilhada de modelo mental de riscos "pré-quantitativos". Cooper (2011) apresenta alguns pontos a serem melhor investigados:

- como fazer as interdependências do produto e projeto explícitos;
- como identificar e caracterizar melhor desconhecimentos;



- como melhorar julgamentos com base em avaliações parciais de risco.

O objetivo principal do trabalho de pesquisa em desenvolvimento pelos autores deste artigo é desenvolver o arcabouço conceitual e proposta de método para análise de risco na fase conceitual de sistemas espaciais, com aplicação para ambientes de engenharia simultânea. Neste artigo são apresentados e discutidos os fundamentos que justificam o desenvolvimento deste método com foco no suporte ao processo de tomada de decisão.

## 2. Metodologia

A natureza da pesquisa proposta é conceitual e teórica, no sentido de produzir um método. A característica experimental ou prática da pesquisa está voltada para a aplicação do método proposto em estudo de caso ao longo da análise conceitual de missões no CPRIME. A validação do método proposto se dará através de entrevista dos usuários (clientes dos estudos e tomadores de decisão) quanto à utilidade do método proposto.

Quanto ao desenvolvimento deste artigo, foi utilizada a exploração bibliográfica dos assuntos relacionados incluindo problemáticas enfrentadas na área de risco. Assim permitindo a construção de uma base conceitual suficiente para argumentação e apresentação dos fundamentos para criação de uma forma de análise de riscos para a aplicação na fase conceitual do ciclo de vida.

## 3. Resultados e Discussão

O método de identificação, avaliação e comunicação de riscos para suporte na tomada de decisão, seguindo a abordagem de decisão informada ao risco (*risk-informed decision making*), deve prover informações sobre os riscos e incertezas identificados de forma efetiva e que permita ao decisor (*decision maker*) uma avaliação ampla e irrestrita de como tais riscos foram identificados, avaliados e estruturados. Uma forma de medida de análise de riscos está em desenvolvimento e consiste no acoplamento de aspectos julgados mais importantes que dão base ao risco identificado. Os aspectos identificados de maior relevância identificados são apresentados na Figura 1.



**Figura 1. Elementos e características julgados de maior relevância para a análise de riscos.**



As características do risco e incertezas consistem de aspectos importantes de tomada de conhecimento pelo decisor. Em uma grande gama de aplicações de engenharia, inclusive na área espacial, a forma de medida de risco comumente utilizada é nível de risco, que consiste na combinação dos elementos probabilidade de ocorrência e impacto em um determinado cenário, expressos através de probabilidade. Estas informações permitem um limitado entendimento do risco pelo decisor (AVEN, 2012). Os fundamentos do risco, como parte da análise de risco em desenvolvimento, são aspectos ligados a origem e base de conhecimento que dá suporte a sua existência e, somado ao entendimento do fenômeno envolvido (representado por domínio e entendimento comum na Figura 1) são considerados elementos importantes de conhecimento do decisor. Estes aspectos estão alinhados com as pesquisas recentes da área quanto a uma "nova perspectiva de risco" (AVEN, 2016b, a).

Quanto a denominação deste elemento como características do risco e incertezas (Figura 1), a intenção é permitir que a utilização de diferentes interpretações e conceitos para risco e incerteza (AVEN, 2012; COSTA; DE SOUSA, 2018) possam fazer uso deste método, isto é, para diferentes conceitos adotados de risco e incerteza, o método tenha aplicabilidade. Entretanto, para fins de apresentação neste trabalho, utilizaremos somente o termo risco como elemento a ter suas características identificadas para a composição da maturidade.

Os aspectos de percepção e comportamento de risco vem sendo explorados na literatura, com maior ênfase a partir de 1950s, quando pesquisadores intensificaram os questionamentos de como humanos tomam decisões enquanto o modelo de racionalismo, até então defendido em muitas áreas, falhava em diferentes testes (ALTHAUS, 2005). Estes aspectos também tem grande importância e devem estar disponíveis ao decisor através do método em desenvolvimento.

A maturidade organizacional e também do conceito de missão sob análise são identificados como importantes fatores para composição do método em desenvolvimento. Aspectos de maturidade são apresentados na literatura para uma grande gama de aplicações. Na área espacial o método TRL e suas derivações IRL e SRL (JESUS; CHAGAS JR., 2018) são indicadores tecnológicos bastante difundidos e tem como objetivo principal apresentar a maturidade tecnológica da solução. Assim como outros indicadores como o CML (SHERWOOD; MCCLEESE, 2011, 2013) e TRRA (MANKINS, 2009). Entretanto, não é possível identificar na literatura uma forma que permita ao decisor tomar conhecimento de múltiplos aspectos simultaneamente quando informado ao risco através dos métodos atuais.

O método de análise de risco a ser criado deve atender as principais preocupações na fase conceitual, considerando um suporte para o processo de tomada de decisão informado pelo risco, especialmente em ambientes de engenharia simultânea, cobrindo os seguintes aspectos:

- captura efetiva de riscos e incertezas;
- avaliação inicial de riscos;
- apresentação e comunicação dos riscos e incertezas;



- identificação de formas para reduzir riscos e incertezas.

#### 4. Conclusão

O método de análise de riscos está em desenvolvimento. Neste trabalho foram apresentadas as ideias preliminares sobre o método e os elementos julgados de maior importância para sua composição. As características apresentadas neste trabalho permitem transparência e comunicação dos fundamentos dos riscos disponibilizados ao decisor que, por sua vez, julgará ou tomará ações necessárias.

Espera-se ajudar nas respostas de questões como: qual a base conhecimento suporta o risco? Qual é confiança nos riscos identificados para incorporação de uma determinada tecnologia na concepção de um sistema? Qual é o comportamento ao risco do analista?

Também é esperado que decisores possam planejar e agir no sentido de melhorar os fundamentos que suportam os riscos quando decisões importantes necessitam ser tomadas, permitindo assim, tornar-se uma ferramenta de gestão mais ampla para projetos orientados ao risco.

*Agradecimentos: Aos organizadores do evento WETE 2019 e Pós-Graduação do INPE pela oportunidade de apresentação e realização do trabalho. Ao CPRIME, ETE e colegas de trabalho pela infraestrutura e oportunidade de constante aprendizado e troca de experiências.*

#### Referências

ALTHAUS, Catherine E. A Disciplinary Perspective on the Epistemological Status of Risk. **Risk Analysis** v. 25, n. 3, p. 567–588 , 2005. Disponível em:

<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1539-6924.2005.00625.x>>.

AVEN, Terje. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research** v. 253, n. 1, p. 1–13 , 16 ago. 2016a. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715011479>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

AVEN, Terje. Supplementing quantitative risk assessments with a stage addressing the risk understanding of the decision maker. **Reliability Engineering & System Safety** v. 152, p. 51–57 , 1 ago. 2016b. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832016000697>>. Acesso em: 23 maio 2019.

AVEN, Terje. The risk concept—historical and recent development trends. **Reliability Engineering & System Safety** v. 99, p. 33–44 , 1 mar. 2012. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832011002584>>. Acesso em: 22 fev. 2018.

COOPER, Lynne Pucilowski. A Team Mental Model Perspective of Pre-Quantitative Risk. 2011, [S.l: s.n.], 2011. p.1–10. 1530-1605 VO - . .



COOPER, Lynne Pucilowski. **HOW PROJECT TEAMS CONCEIVE OF AND MANAGE PRE-QUANTITATIVE RISK**. Viterbi School of Engineering, 2008. 178 p. Disponível em: <<http://digitallibrary.usc.edu/cdm/ref/collection/p15799coll127/id/96907>>.

COSTA, Lucas Lopees; DE SOUSA, Fabiano Luis. Abordagens de Análise de Risco no CPRIME. 2018, [S.l: s.n.], 2018. p.27. Disponível em: <<http://www.inpe.br/wete/2018/>>.

ECSS. *ECSS-M-ST-80C Space Project Management: Risk Management*. [S.l: s.n.], 2008

HIHN, Jairus *et al.* Identification and Classification of Common Risks on Space Based Science Missions. **AIAA Space 2010 Conference** n. September, p. 15, 2010.9781600869662.

HIHN, Jairus; CHATTOPADHYAY, Deb; VALERDI, Ricardo. How Engineers Really Think About Risk: A Study of JPL Engineers. 2011, El Segundo, California: [s.n.], 2011. p.27. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120007994>>.

HIHN, Jairus; CHATTOPADHYAY, Debarati; SHISHKO, Robert. Risk identification and scoring in early-lifecycle concurrent engineering teams. **Innovations in Systems and Software Engineering** v. 8, n. 3, p. 213–221, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11334-012-0187-2>>.

HIHN, Jairus; CHATTOPADHYAY, Debarati; SHISHKO, Robert. Risk Identification and Visualisation in a Concurrent Engineering Team Environment. 2010, San Diego, CA: [s.n.], 2010. p.10.

JESUS, Gabriel T.; CHAGAS JR., Milton de F. Integration Readiness levels Evaluation and Systems Architecture: A Literature Review. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science** v. 5, n. 4, p. 73–84, 2018.

MANKINS, John C. Technology readiness and risk assessments: A new approach. **Acta Astronautica** v. 65, n. 9–10, p. 1208–1215, 1 nov. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457650900201X>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

NASA. *NASA/SP-2011-3422 NASA Risk Management Handbook*. Washington, EUA: [s.n.]. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120000033>>. , 2011

NASA. *NASA/SP-2016-6105 NASA Systems Engineering Handbook*. NASA. [S.l: s.n.], 2016

ROSENBERG, Leigh; HIHN, Jairus; LUM, Karen. Cost and Risk Estimating and Analysis in a Concurrent Engineering Environment. 2013, Pasadena, CA: [s.n.], 2013. p.19. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/offices/ocfo/cost\\_symposium/2013\\_presentations](https://www.nasa.gov/offices/ocfo/cost_symposium/2013_presentations)>.

SHERWOOD, Brent; MCCLEESE, Daniel. JPL Innovation Foundry. p. 1–13, 2011.

SHERWOOD, Brent; MCCLEESE, Daniel. JPL Innovation Foundry. **Acta Astronautica** v. 89, p. 236–247, 1 ago. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009457651300132X>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

ZIEMER, John K; WESSEN, Randii R; JOHNSON, Paul V. Exploring the Science Trade Space with the JPL Innovation Foundry A-Team. 2016, [S.l: s.n.], 2016. p.1–12.