



Abordagens de Análise de Risco no CPRIME

COSTA, L. L.¹, De SOUSA, F. L.²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais, área de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais - CSE/ETE

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil
Divisão de Sistemas Espaciais - DISIS/ETE

lucas.costa@inpe.br

Resumo.

A disciplina Risco é parte integrante do desenvolvimento de sistemas espaciais desde a fase conceitual. O Centro de Projeto Integrado de Missões Espaciais (CPRIME) é uma infraestrutura criada pela ETE para o estudo conceitual de missões espaciais utilizando engenharia concorrente e tem em sua estrutura funcional a disciplina Risco. A principal função da disciplina Risco é identificar e avaliar os riscos relacionados as propostas de solução desenvolvidas durante os estudos e apresentá-las aos clientes. Neste trabalho são apresentadas e discutidas as abordagens, processos e ferramentas já utilizadas pela disciplina Risco no âmbito das atividades do CPRIME.

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

1. Introdução

Metodologias de gerenciamento de risco tradicionalmente utilizadas na fase de projeto (fases B e C) do desenvolvimento de sistemas espaciais tem sua aplicação limitada para utilização em situações de grande incerteza como a fase de concepção (fase 0 ou pré-fase A).

A fase de concepção de sistemas espaciais é característica por apresentar grande incerteza e as ferramentas atualmente utilizadas para avaliação de riscos em ambientes de Engenharia Concorrente utilizam avaliações qualitativas com base em informações históricas e na experiência dos participantes (HIHN *et al.*, 2010; MESHKAT; SHAPIRO, 2005; MESHKAT, 2007).

O tratamento de incertezas é um tema em exploração no atual cenário acadêmico e correntes distintas existem entre tratamento probabilístico e não-probabilístico de incertezas (APELAND *et al.*, 2002; AVEN; KVALØY, 2002; NILSEN; AVEN, 2003; SHORTRIDGE *et al.*, 2017).



O tratamento de incerteza é um tema chave na conceituação do risco e para o processo de avaliação de risco. Como entender e tratar incertezas têm sido intensamente discutidos na literatura desde os estágios iniciais da análise de risco (como método formal) nos anos 70 e 80. Análise probabilística é o método predominante utilizado para tratamento de incertezas para ambas as incertezas aleatória (representando variabilidade) e epistêmica (falta de conhecimento). Para a incerteza aleatória existe um consenso no uso de probabilidades com a limitação da interpretação de frequência relativa de probabilidade. Entretanto, para a representação e expressão da incerteza epistêmica não existe um consenso, abordagens de probabilidade subjetiva bayesiana são mais comuns, porém, muitas alternativas têm sido propostas incluindo intervalos de probabilidade, medidas probabilísticas e métodos qualitativos (AVEN, 2016).

Aven (2012a) define risco com relação próxima de incerteza e afirma que a ambiguidade entre as noções de risco e incerteza refletem na forma de abordagem em diferentes aplicações.

A natureza da disciplina Risco ainda é objeto de discussão e diferentes definições de conceitos existem para diferentes aplicações (AVEN, 2012b, 2016).

Segundo Samson et al. (2009), não há uma definição geral para os termos risco e incerteza, existe uma abundância de literatura que discute este assunto e diferentes interpretações são adotadas. A Figura 1 apresenta um diagrama com diferentes relacionamentos entre risco e incerteza.

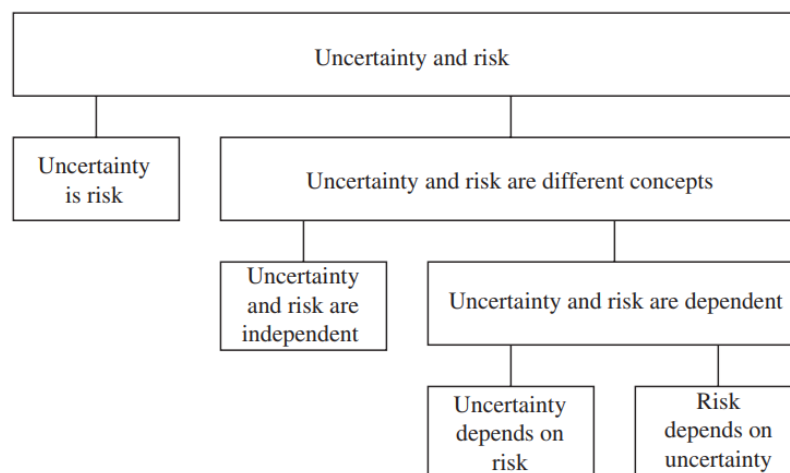


Figura 1. Diferentes entendimentos do relacionamento entre risco e incerteza. (SAMSON; RENEKE; WIECEK, 2009)

Um grande número de pesquisadores, especialmente no mundo da economia e finanças, definem risco igual a incerteza. Essas definições assumem a quantificação de incertezas, de forma a seguir uma distribuição ou um conjunto de distribuições que, conjuntamente, ajudam a quantificar incerteza (SAMSON; RENEKE; WIECEK, 2009).

Segundo Samson et al. (2009) muitos autores acreditam que risco e incerteza são conceitos diferentes, mas ainda não concordam em como estes estão relacionados. Alguns acreditam



que riscos de um sistema dependem da incerteza do ambiente do sistema e outros acreditam que incerteza no sistema depende do risco no sistema e, ainda, alguns autores argumentam que não há necessariamente alguma relação entre incerteza e risco.

Ao longo dos últimos 15 a 20 anos tem sido notada uma mudança no tratamento de riscos de perspectiva com base em probabilidades para outras formas não-probabilísticas que evidenciam eventos, consequências e incertezas (AVEN, 2012b).

A mudança de perspectiva de uma precisa estimativa e previsão de riscos para uma caracterização do conhecimento ou falta de conhecimento relacionado ao risco é apontada por Aven (2016) como o desafio principal do futuro da disciplina e do desenvolvimento de processos e ferramentas adequadas, principalmente para situações de grande incerteza.

Segundo SRA (2015) muitos pesquisadores tem maior aceitação sobre a representação não probabilística de incertezas. Probabilidade é considerada a principal ferramenta, porém outras abordagens e métodos podem ser considerados quando probabilidades credíveis não podem ser facilmente determinadas ou acordadas. Em situações de *deep uncertainty* (profunda incerteza) existe larga aceitação da necessidade de utilizar abordagens além da probabilidade e não necessariamente utilização da Teoria de Possibilidade ou Teoria de Evidência, mas a combinação de abordagens probabilísticas e qualitativas.

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 e suas diretrizes estão definidas em uma política, seja institucional ou específica para uma aplicação. Pode-se distinguir o uso da área de risco em dois objetivos distintos, que mudam o processo de atuação da disciplina: gestão de riscos e para tomada de decisão.

Segundo Aven (2016) e SRA (2015) três estratégias principais de gerenciamento de riscos são utilizadas: Informada ao risco (*risk-informed*), cautelosa/precaução (*cautionary / precautionary*) e discursiva (*discursive*). A descrição de cada uma das estratégias é apresentada na Tabela 1. Na maioria das aplicações práticas, estratégias mistas são utilizadas.

Tabela 1. Descrição das estratégias de gerenciamento de risco. (Aven, 2016)

Estratégia	Descrição
Informada ao Risco (<i>Risk-informed</i>)	Refere-se ao tratamento do risco (evasão, redução, transferência e retenção) utilizando a análise de risco de modo relativo ou absoluto.
Cautelosa / Precaução (<i>Cautionary / Precautionary</i>) ou Robustez e Resiliência (<i>Robustness and Resilience</i>)	Habilidade de adequadamente ler sinais e precursores de eventos sérios. Evidencia características como: contenção, desenvolvimento de substitutos, fatores de segurança, redundância, fortalecimento de sistemas imunes, diversificação de meios para abordagens idênticas, projeto de sistemas com opções de respostas flexíveis, melhoria de condições para gerenciamento de emergências, adaptação do sistema.
Discursiva	Utiliza medidas para construir confiança e confiabilidade através da



(Discursive)	redução de incertezas e ambiguidades, esclarecimento de fatos, envolvimento de pessoas afetadas, deliberação, prestação de contas.
--------------	--

2. Abordagens da disciplina Risco no CPRIME

A definição da estratégia a ser adotada para a identificação e avaliação de riscos na disciplina Risco do CPRIME foi inicialmente utilizando ferramentas e conceitos adaptados da área de Dependabilidade. Inicialmente integrando FMEA e diagrama de blocos de confiabilidade com o conceito de risco (combinação de probabilidade de ocorrência e impacto) e posteriores modificações.

O estudo de referências bibliográficas foi realizado de forma sistemática a fim de identificar os conceitos e entender as ferramentas utilizadas nos processos de tratamento de riscos. Também foram investigados relatórios de estudos de missões realizadas por centros de engenharia concorrente como o Team-X (Innovation Foundry/JPL) e CDF (ESTEC/ESA).

As diferentes propostas foram colocadas em prática em estudos realizados no CPRIME e a avaliação dos resultados obtidos foi utilizada para efetuar melhorias na abordagem e ferramentas subsequentes. A definição da política de gestão de riscos da ETE (ETE/GPO-DG-001) foi um importante suporte para a disciplina Risco do CPRIME e tem sido utilizada como referência principal para a análise qualitativa dos riscos.

A seguir são apresentadas algumas abordagens já utilizadas na disciplina risco em estudos do CPRIME.

2.1 Abordagem 1

A primeira abordagem proposta consiste em três fases integrando a identificação de riscos técnicos (matriz 5x5), análise de modos de falha e seus efeitos (FMEA) e diagrama de blocos de confiabilidade. O detalhamento das fases adotadas é apresentado:

- Fase 1 – Avaliação dos requisitos *top-level* da missão: Através dos requisitos de missão como entrada, avaliar os modos de falha da solução proposta, impactos no cumprimento dos requisitos e identificação de causas.
- Fase 2 – Avaliação das alternativas de solução e seus relacionamentos: Com a identificação das soluções de cada elemento, a análise qualitativa integrada é aplicada individualmente permitindo a comparação entre as possíveis soluções.
- Fase 3 – Avaliação da arquitetura final da missão: Após o *trade-off* das alternativas de soluções de cada elemento, a arquitetura(s) escolhidas como *baseline* são avaliadas considerando as iterações entre os elementos.

A classificação dos riscos adota na abordagem 1 é a seguinte:

- Missão.



- Elementos da arquitetura da missão: *subject*, segmento espacial, segmento solo, operação da missão, arquitetura de comando, controle e comunicação, órbita e segmento lançador.
- Segmento espacial: carga útil, módulo de serviço.
- Subsistemas.

O processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco e consolidação final com a disciplina Systems.

2.2 Abordagem 2

A segunda abordagem proposta integra a identificação dos riscos técnicos (matriz 3x3) com critérios qualitativos ajustados. A classificação dos riscos adota na abordagem 2 é a seguinte:

- Missão.
- Elementos da arquitetura da missão: segmento espacial, segmento solo e segmento lançador.

O processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco e envio das informações para as disciplinas específicas pertinentes. A consolidação final é realizada pelas disciplinas específicas do estudo.

2.3 Abordagem 3

A terceira abordagem proposta utiliza a política de riscos da ETE (ETE/GPO-DG-001) com uma matriz (5x5) e níveis de probabilidade e impacto de acordo com a política estabelecida. Identificação de riscos técnicos e programáticos utilizando a mesma análise. A classificação dos riscos adota na abordagem 3 é a seguinte:

- Missão (válido para todas as soluções).
- Subsistemas/equipamentos incluindo cargas úteis (segmentado por arquitetura de solução - árvore de *trade*).

O processo consiste na coleta de informações nas sessões de projeto pela disciplina Risco e consolidação final com todo time de estudo.

2.4 Abordagem 4

A quarta abordagem proposta utiliza a política de riscos da ETE (ETE/GPO-DG-001) com uma matriz (5x5) e níveis de probabilidade e impacto modificados da política originalmente estabelecida. O impacto quanto à classificação escopo e qualidade foi subdividida adaptando a referência da NASA – gerenciamento de risco da missão SDO (KLEIN JR., 2011). Identificação de riscos técnicos e programáticos na mesma análise.

A classificação dos riscos adota na abordagem 4 é a seguinte:



- Missão (válido para todas as soluções).
- Subsistemas/equipamentos incluindo cargas úteis (segmentado por arquitetura de solução - árvore de trade).

O processo consiste na apresentação da metodologia proposta ao cliente do estudo, adaptação dos critérios de impacto com validação do cliente. Durante as sessões de projeto, ocorre a coleta de informações pela disciplina Risco e consolidação final com disciplinas: *systems*, *programmatics*, risco e cliente. Também foi desenvolvido um diagrama de blocos de confiabilidade dos subsistemas e também consolidado do segmento espacial.

3. Avaliação das abordagens

As abordagens apresentadas são aquelas definidas para diferentes estudos de missões realizadas pelo CPRIME. As distinções entre as abordagens são devido, principalmente, aos objetivos do estudo, natureza da missão sob análise e modificações propostas utilizando a experiência acumulada pela equipe da disciplina Risco. Inicialmente foi proposta uma abordagem muito extensa (abordagem 1) e foi verificado sua inviabilidade de utilização (longo tempo de execução e alta complexidade), assim, as demais abordagens apresentaram grande redução de escopo, porém preservando o objetivo principal de capturar os riscos e comunicar ao cliente do estudo.

A avaliação qualitativa das componentes: probabilidade de ocorrência e impacto, inicialmente realizada somente pela disciplina Risco (abordagens 1 e 2), gradualmente incorporou novos atores, porém esta prática tornou o processo lento devido as discussões e debates, que nem sempre chegaram a um consenso. Mesmo assim, notou-se a importância de reunir diferentes atores e seus distintos pontos de vista para a avaliação dos riscos, mesmo que não fosse possível avaliar completamente todos os riscos identificados.

A definição da política de riscos da ETE foi um marco importante para a disciplina Risco (abordagem 3). Juntamente com a estruturação de uma ferramenta padrão e critérios ajustados para a realidade do INPE e projetos no âmbito da ETE. Inicialmente foi utilizada em seu formato proposto e ao longo de sua utilização, novas modificações foram incorporadas.

A presença e participação ativa do cliente do estudo junto à disciplina Risco (abordagem 4) mostrou ser importante nas definições iniciais qualitativas a serem adotadas na avaliação dos riscos.

4. Conclusão

A identificação de riscos é uma importante atividade a ser realizada desde o princípio de qualquer projeto de forma a suportar o desenvolvimento e etapas subsequentes através de sinalização de potenciais problemas futuros e identificação de medidas para minimizar



consequências ou evitar os potenciais problemas. Quando medidas são tomadas o mais prematuramente possível no desenvolvimento de um projeto, como exemplo a fase conceitual, maiores são as chances de evitar a extrapolação de recursos e tempo planejados. Neste sentido a disciplina Risco atua no CPRIME com o objetivo de identificar e, dependendo dos objetivos do estudo, propor medidas mitigatórias para os riscos de cada solução de arquitetura explorada em um estudo.

Outro importante motivador da existência desta disciplina está relacionado à utilização dos riscos e níveis identificados como fonte de informações para auxílio em tomada de decisões.

Através da discussão dos resultados nota-se a necessidade constante de evolução da abordagem utilizada na disciplina Risco do CPRIME e também a flexibilização para diferentes objetivos de cada estudo. Este trabalho é parte de uma pesquisa de doutorado do primeiro autor, em desenvolvimento.

***Agradecimentos:** Aos organizadores do evento WETE 2018 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

APELAND, S.; AVEN, T.; NILSEN, T. Quantifying uncertainty under a predictive, epistemic approach to risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety* v. 75, n. 1, p. 93–102, 1 jan. 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832001001223>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

AVEN, T.; KVALØY, J.T. Implementing the Bayesian paradigm in risk analysis.

Reliability Engineering & System Safety v. 78, n. 2, p. 195–201, 1 nov. 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832002001618>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

AVEN, Terje. *Foundations of Risk Analysis*. 2. ed. Chichester, UK: Wiley, 2012a. 224 p. .9781119945789.

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. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715011479>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

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

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

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.

KLEIN JR., Gerald A. *Solar Dynamics Observatory (SDO) Project Continuous Risk Management Implementation SDO Mission / Project Overview* . Greenbelt, Maryland, U.S.: NASA GSFC Supply Chain Conference 2011. , 2011

MESHKAT, L.; SHAPIRO, A. Probabilistic risk assessment for concurrent, conceptual design of space missions. 2005, [S.l: s.n.], 2005. p.1248–1252. 1563477386 | 9781563477386. .

MESHKAT, L. A Holistic Approach for Risk Management During Design. 2007, [S.l: s.n.], 2007. p.1–5. 1095-323X VO - . .

NILSEN, T.; AVEN, T. Models and model uncertainty in the context of risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety* v. 79, n. 3, p. 309–317 , 1 mar. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832002002399>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

SAMSON, Sundeep; RENEKE, James A.; WIECEK, Margaret M. A review of different perspectives on uncertainty and risk and an alternative modeling paradigm. *Reliability Engineering & System Safety* v. 94, n. 2, p. 558–567 , 1 fev. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832008001828>>. Acesso em: 25 maio 2018.

SHORTRIDGE, Julie; AVEN, Terje; GUIKEMA, Seth. Risk assessment under deep uncertainty: A methodological comparison. *Reliability Engineering & System Safety* v. 159, p. 12–23 , 1 mar. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183201630713X>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

SRA. *Risk Analysis Foundations* . [S.l.]: SRA. Disponível em: <<http://www.sra.org/sites/default/files/pdf/FoundationsMay7-2015-sent-x.pdf>>. , 2015