

Cálculo de dependências em modelos probabilísticos de risco suportados por árvores de eventos e árvores de falhas

Victor Hugo Gonçalves, Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco – LabRisco,
Universidade de São Paulo

Danilo Taverna Martins Pereira de Abreu, Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco –
LabRisco, Universidade de São Paulo

Marcelo Ramos Martins, Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Risco – LabRisco,
Universidade de São Paulo

RESUMO

O artigo em questão apresenta a criação de uma rotina computacional para análise de árvores de eventos, considerando a dependência entre seus eventos.

Primeiramente são apresentados os conceitos de análise de risco fundamentais à compreensão do problema, em seguida compara-se a metodologia convencional de análise de árvores de eventos com a metodologia implementada pela rotina computacional.

Por fim, faz-se a análise de uma árvore de eventos, utilizando-se da ferramenta desenvolvida, concluindo com uma comparação entre os resultados obtidos pela rotina computacional e os resultados obtidos pelo método convencional.

1 INTRODUÇÃO

As árvores de falhas constituem uma ferramenta muito versátil da análise de risco, que permite escrutinar as causas de falha de sistemas complexos por meio da aplicação de relações lógicas simples, numa abordagem do topo para a base. No contexto da análise probabilística de risco, é comum utilizar modelos de árvores de falhas em combinação com árvores de eventos. Estas últimas constituem uma ferramenta indutiva que apresenta os possíveis desdobramentos de um cenário de perigo considerando a ocorrência sequencial de eventos a partir de um evento iniciador. A combinação entre ambas as técnicas de modelagem constitui, portanto, uma alternativa interessante para a modelagem de relações de causa e consequência.

Um problema particularmente complexo ocorre quando os eventos de uma árvore de eventos são eventos-topo uma árvore de falhas. Nesse tipo de problema, é comum que se avalie as probabilidades dos eventos de forma independente, desprezando os possíveis componentes que são comuns a mais de uma árvore de falhas, cada qual modelando diferentes eventos na árvore de eventos. Dessa forma, obtêm-se resultados aproximados, tendo em vista a hipótese de independência adotada.

Este trabalho apresenta uma formulação para analisar uma árvore de eventos considerando as relações de dependência provenientes de eventos básicos em comum entre as diferentes árvores de falha que compõem o modelo. Adicionalmente, serão apresentados estudos de caso comparando os resultados obtidos pelo método aproximado com os resultados obtidos pela rotina computacional desenvolvida.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 Árvores de falhas

As árvores de falhas são uma ferramenta que consiste em um diagrama de eventos básicos, associados entre si por meio de portas lógicas, seguidos de um evento-topo. Cada evento básico de uma árvore de falhas possui uma probabilidade de falha associada a si. A avaliação da árvore de eventos consiste na determinação da probabilidade de ocorrência de seu evento-topo.

Um *cut set*, é um conjunto de eventos básicos que, caso ocorram simultaneamente, irão provocar a ocorrência do evento-topo. Um *cut set* mínimo é aquele formado pela menor quantidade possível de eventos

básicos. A estrutura lógica de uma árvore de falhas pode ser representada por meio de seus *cut sets* mínimos; essa representação foi adotada para o desenvolvimento do trabalho em questão. A Figura 2.1. apresenta um exemplo de árvore de falhas.

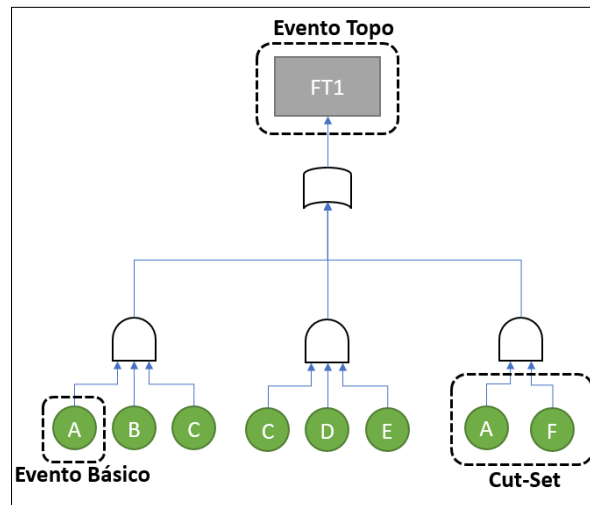


Figura 2.1: Representação de uma árvore de falhas. Eventos básicos: A, B, C, D, E, F; Cutsets: {A, B, C}, {C, D, E} e {A, F}; Evento-topo: FT1.

2.2 Árvores de eventos

As árvores de eventos se iniciam considerando um determinado evento indesejado como iniciador e, em seguida, possuem uma série de eventos intermediários, que funcionam como barreiras, geralmente com o objetivo de evitar ou mitigar alguma consequência da falha inicial. De semelhante modo aos eventos básicos das árvores de falha, cada evento da árvore de eventos possui uma probabilidade associada a si.

A combinação de falhas ou sucessos dos eventos da árvore de eventos gera um conjunto de cenários. É possível obter a probabilidade de ocorrência de cada um dos cenários, por meio do produto das probabilidades dos eventos que o compõem.

A Figura 2.2 apresenta a representação de uma árvore de eventos. É possível notar que o evento inicial “*grounding scenario*” é assumido como certo, possuindo probabilidade igual a 1. Os cenários são apresentados à direita, com suas respectivas probabilidades, sendo classificados como cenário de sucesso, de encalhe ou de quase perda.

Event	Grounding scenario	Propulsion and steering	Safe action	Recovery (1st attempt)	Recovery (2nd attempt)	Emergency anchoring	Probability	Outcome
Failure probability	1.00	4.26E-04	8.17E-02	3.86E-02	3.86E-02	2.29E-01		
		Success	Success	Success			9.18E-01	Success
		Success	Failure	Success			7.85E-02	Near-miss
		Success	Failure	Failure	Success		3.03E-03	Near-miss
		Success	Failure	Failure	Failure	Success	9.38E-05	Near-miss
		Success	Failure	Failure	Failure	Failure	2.79E-05	Grounding
		Failure				Success	3.28E-02	Near-miss
		Failure				Failure	9.76E-05	Grounding

Figura 2.2: Representação de uma árvore de eventos. Fonte: Abreu, Maturana, & Martins, (2020).

2.3 Ferramenta desenvolvida

Uma vez apresentados os conceitos de árvore de falhas e árvore de eventos, o trabalho desenvolvido teve como objetivo desenvolver uma rotina computacional que integrasse ambas as ferramentas, criando uma representação mais realista para sistemas com alto grau de complexidade.

Na metodologia empregada, o sistema é representado por uma árvore de eventos em que cada evento é o evento-topo de uma árvore de falhas. Desta forma, a dependência entre diferentes eventos não é mais desconsiderada. Tal metodologia é particularmente vantajosa, pois em situações reais, um único componente que venha a falhar pode afetar mais de uma barreira.

A equação 2.1 apresenta a aproximação utilizada para o cálculo da probabilidade do evento topo de uma árvore de falhas formado por N cut-sets mínimos, sendo cada cut-set mínimo formado por K_i eventos básicos, que são representados por e_j .

$$P(\text{Evento Topo}) = 1 - \prod_{i=1}^N \left(1 - \prod_{j=1}^{K_i} (1 - p(e_j)) \right)$$

Equação 2.1.

A rotina computacional foi desenvolvida com programação orientada a objetos. Os eventos básicos, os eventos-topo, os *cut sets* e as árvores de eventos foram representados como objetos de classes, permitindo maior versatilidade sua manipulação. A linguagem utilizada foi C++. A Figura 2.3 ilustra, com uma árvore de eventos contendo 3 eventos, uma comparação entre a metodologia convencional e a implementada.

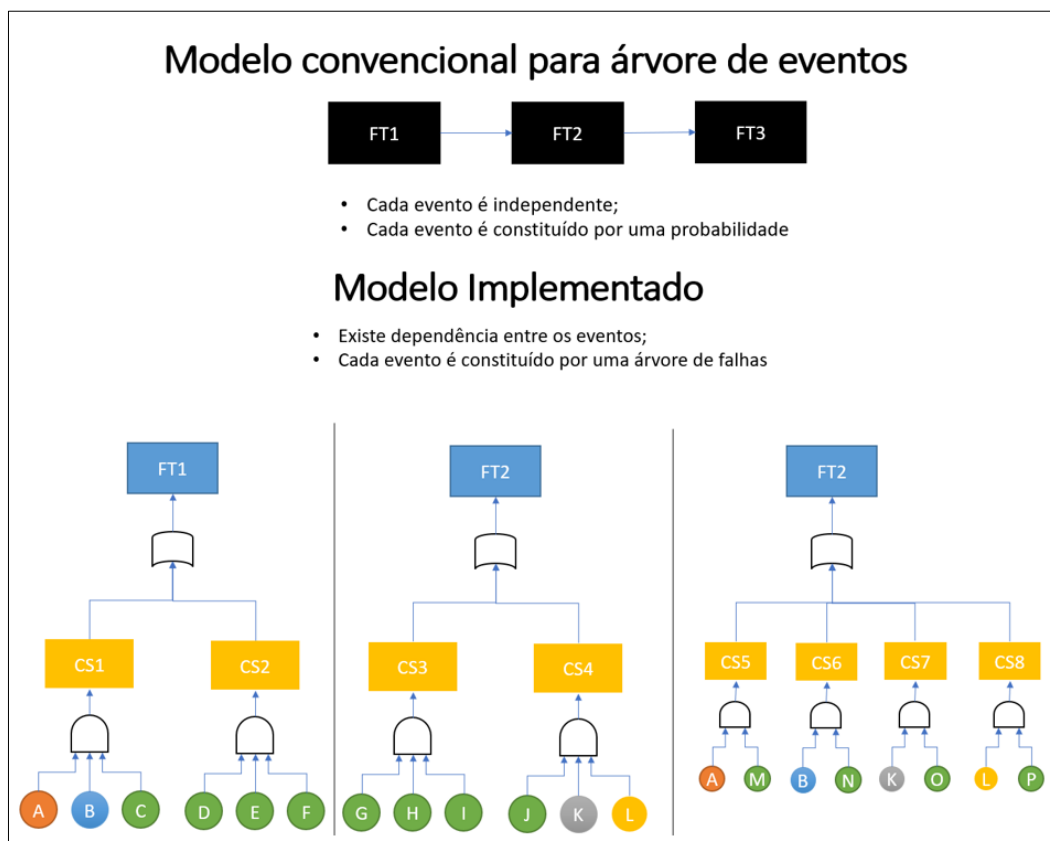


Figura 2.3: Comparação entre a metodologia convencional e a metodologia implementada pelo software.

3 RESULTADOS

Para a análise da ferramenta desenvolvida, utilizou-se da árvore de eventos apresentada no artigo DEVELOPMENT OF ACCIDENTAL SCENARIOS INVOLVING HUMAN ERRORS FOR RISK ASSESSMENT IN RESTRICTED WATERS (Abreu, Maturana, & Martins, 2020), ilustrada na Figura 2.2. Atribuiu-se para cada evento, um conjunto de *cut sets*, com o objetivo de avaliar qual seria o desvio entre os valores dos dois métodos, devido às dependências entre as árvores de eventos.

CENARIO	Método Antigo	Novo Método	Variação Percentual
1	6,56E-08	5,42E-08	-17,33%
2	2,43E-04	2,43E-04	0,00%
3	2,63E-04	2,18E-04	-17,32%
4	9,75E-01	9,75E-01	0,00%
5	1,65E-09	1,30E-08	688,73%
6	6,11E-06	6,09E-06	-0,19%
7	6,62E-06	5,22E-05	688,84%
8	2,45E-02	2,45E-02	-0,19%

Figura 3.1: Comparação entre os resultados da metodologia convencional e os da metodologia implementada pelo software.

4 CONCLUSÃO

A ferramenta desenvolvida cumpriu seu papel em implementar o método sugerido, sendo possível, por meio dela, representar uma árvore de eventos em que cada evento é o evento-topo de uma árvore de falhas e, em seguida, projetar seus cenários com suas respectivas probabilidades.

Quanto à diferença entre os valores obtidos, houve uma variação considerável entre as probabilidades obtidas pelo método convencional e pelo novo método. Tais diferenças são, evidentemente, devidas à consideração de dependências entre os eventos das árvores de eventos.

5 REFERÊNCIAS

- ABREU, D. T. (2017). Desenvolvimento de ferramenta computacional para avaliação da disponibilidade de sistemas de engenharia. 119.
- Abreu, D. T., Maturana, M. C., & Martins, M. R. (2020). DEVELOPMENT OF ACCIDENTAL SCENARIOS INVOLVING HUMAN ERRORS FOR RISK. p. 10.
- Martins, M. R. (2013). *CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE E RISCO*.