



# **Análise de Árvore de Falha (*Fault Tree Analysis* – FTA)**

Profº Ponge – PME 3463

Noboru Kinoshita – 7206238

Vitor Coppola – 9348495

# Contextualização

---

- Primeira Revolução Industrial (1820 – 1840)
- Primeiro método estatístico de inspeção (Shewhart – 1920)
- Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945)
- Crescimento econômico do Japão (1950 – 1966)
- Criação do método FTA por H. A. Watson (1962)
- Adoção do FTA pela Boeing no projeto de aeronaves civis (1966)
- Fusão parcial do reator nuclear em Three Mile Island (1979)
- Desastre do ônibus espacial Challenger (1986)

# Definição do Método

---

- FTA é um método dedutivo de análise de falhas do topo para baixo (*top-down*) no qual a falha ou estado indesejado de um sistema é o evento do topo e é relacionado a outros eventos (falhas) menores em baixo por meio de lógica booleana. É utilizado para entender como sistemas podem falhar, identificar as melhores maneiras de reduzir riscos e determinar a probabilidade de falhas.

# Metodologia

---

- A metodologia para a análise de árvore de falhas segue 4 passos:
  1. Definição do sistema de interesse
  2. Construção da Árvore de Falhas
  3. Avaliação Qualitativa
  4. Avaliação Quantitativa

# 1. Definição do Sistema

---

- Consiste na definição de um evento indesejado
- É necessário conhecer:
  - Funções e características do sistema
  - Operação e modos de falha do sistema (controles, interfaces, etc.)
  - Interação entre componentes (Fluxograma)
  - Especificações técnicas (limites operacionais, necessidade de monitoramento, manutenção, etc.) dos componentes

## 2. Construção da Árvore de Falhas

---

- Análise *Top-Down*:
  - Hierarquia
  - Evento topo – Evento indesejável (Ruptura, Explosão, etc.)
  - Eventos e condições secundários
- Relacionamento entre eventos: utilização de portas lógicas
- Utilização de dados quantitativos (dados históricos, probabilidade, etc.)

# Simbologia básica

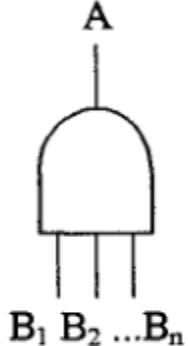
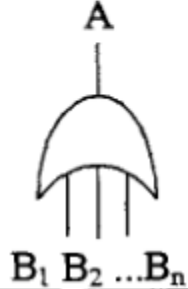
---



Fonte: Sakurada, 2001

# Simbologia básica

- Portas Lógicas

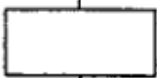
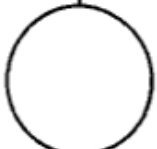
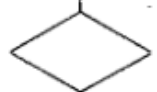

Símbolo	Nome	Relação causal
	E	O evento de saída "A" ocorre se todos os eventos de entrada "B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> ...B <sub>n</sub> " ocorrerem simultaneamente.
	OU	O evento de saída "A" ocorre se qualquer um dos eventos de entrada "B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> ...B <sub>n</sub> " ocorrer ou qualquer combinação destes ocorrer.

Fonte: Sakurada, 2001



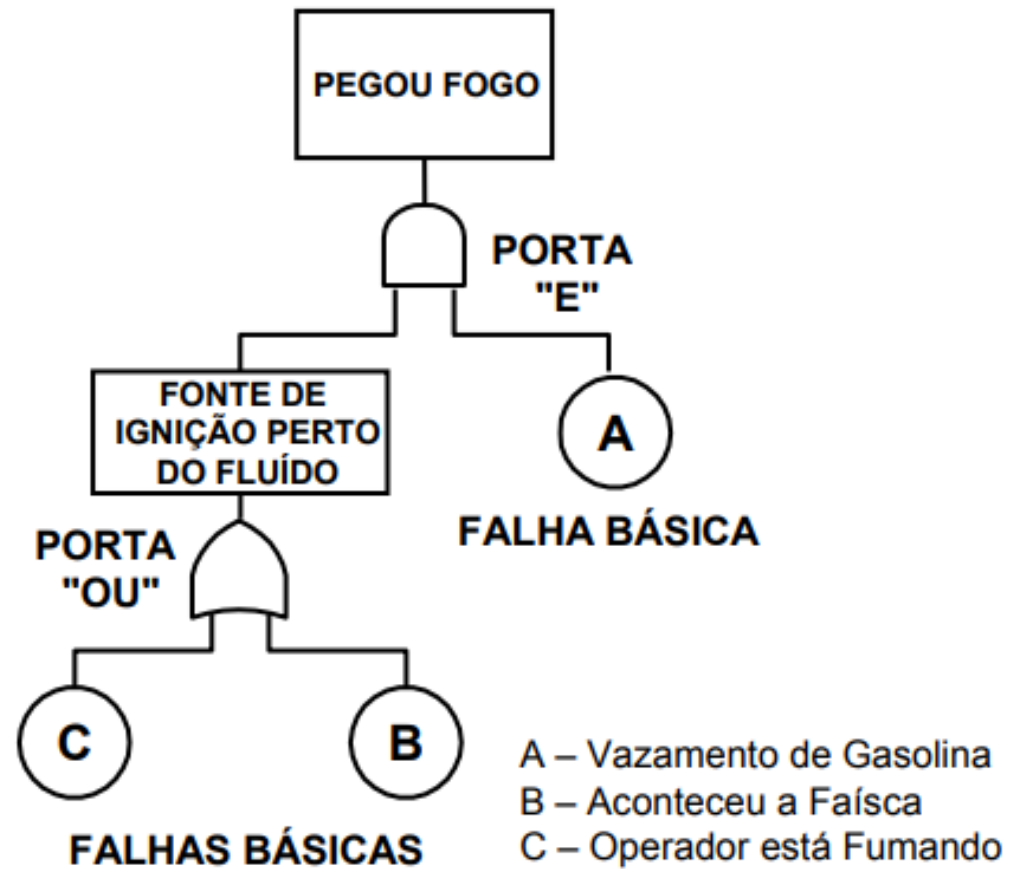
# Simbologia básica

- Representação dos eventos

 retângulo	Evento representado por uma porta lógica.
 círculo	Evento básico com dados suficientes.
 losango	Evento não desenvolvido
 “transfer out” e “transfer in”	Símbolo transferência.

Fonte: Sakurada, 2001

# Exemplo

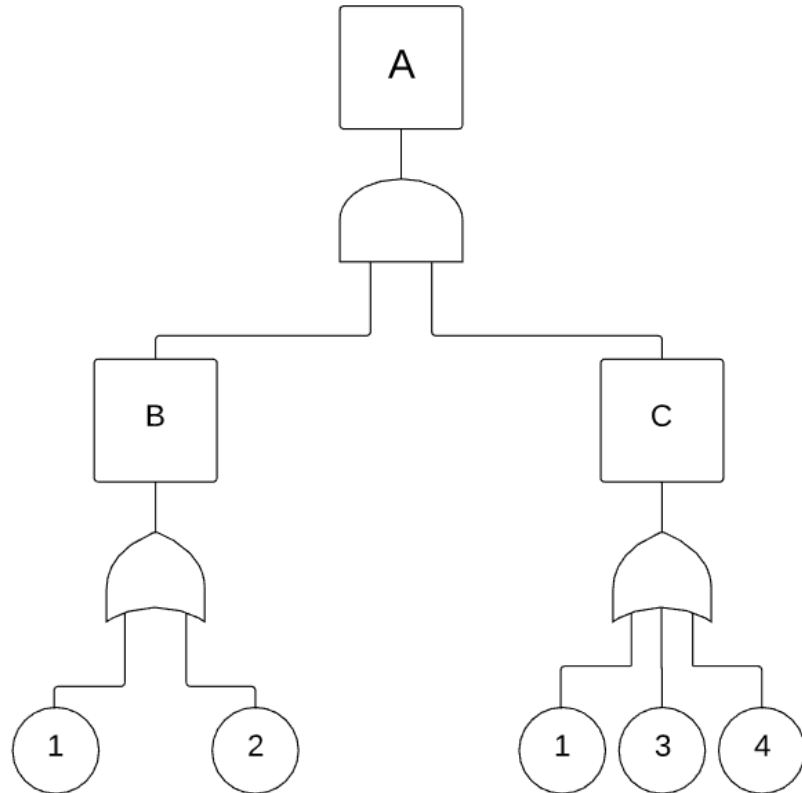


# 3. Análise qualitativa

---

- Determinação dos “cortes mínimos”
- Cortes – conjunto de falhas que se ocorrerem implica na ocorrência do evento topo
- Corte mínimo – quando o corte não puder ser reduzido sem perder a condição de corte
- Análise da “ordem” dos cortes

# Exemplo



Conjunto de Cortes:  
 $(1,1)$ ;  $(1,3)$ ;  $(1,4)$ ;  $(2,1)$ ;  $(2,3)$ ;  $(2,4)$ ;



Corte Mínimo:  
 $(1)$ ;  $(2,3)$ ;  $(2,4)$

Um corte mínimo de 1ª ordem e dois de 2ª ordem

**Quanto menor a ordem do corte mais crítico é o corte**



**Falhas mais críticas que desejamos evitar!**

# 4. Análise Quantitativa

---

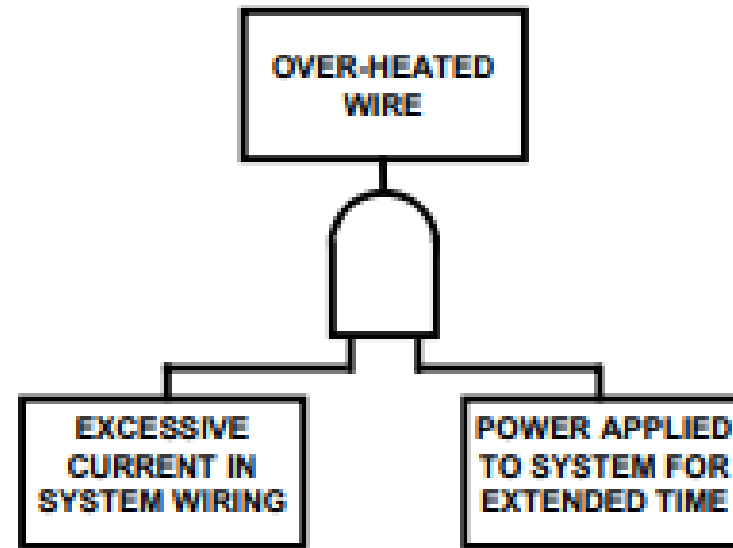
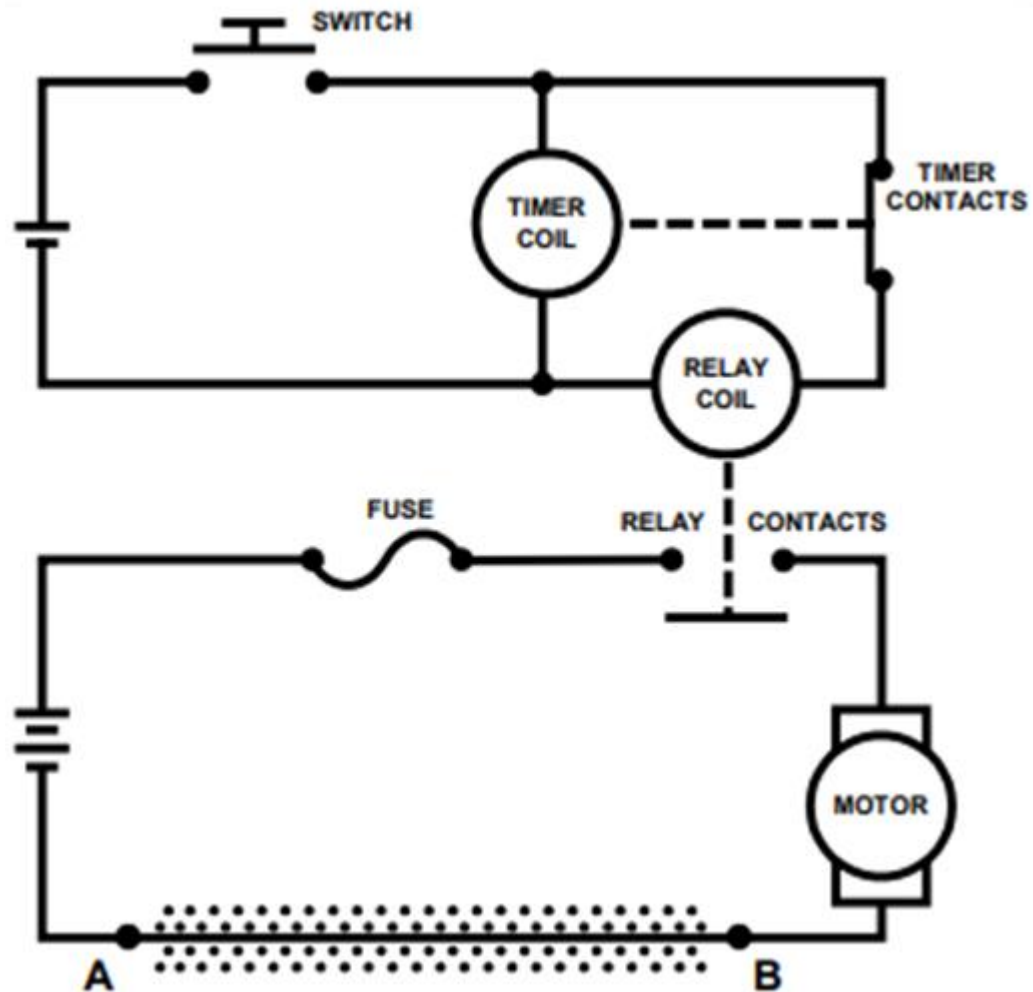
- Processo mais difícil - Avaliação da probabilidade de ocorrência dos eventos
- Estatística
- Indicadores:
  - Probabilidade de falha
  - Taxa de falha
  - Tempo médio de Reparo (MTTR)
  - Tempo médio entre falhas (MTBF)
  - Disponibilidade

# 4. Análise Quantitativa

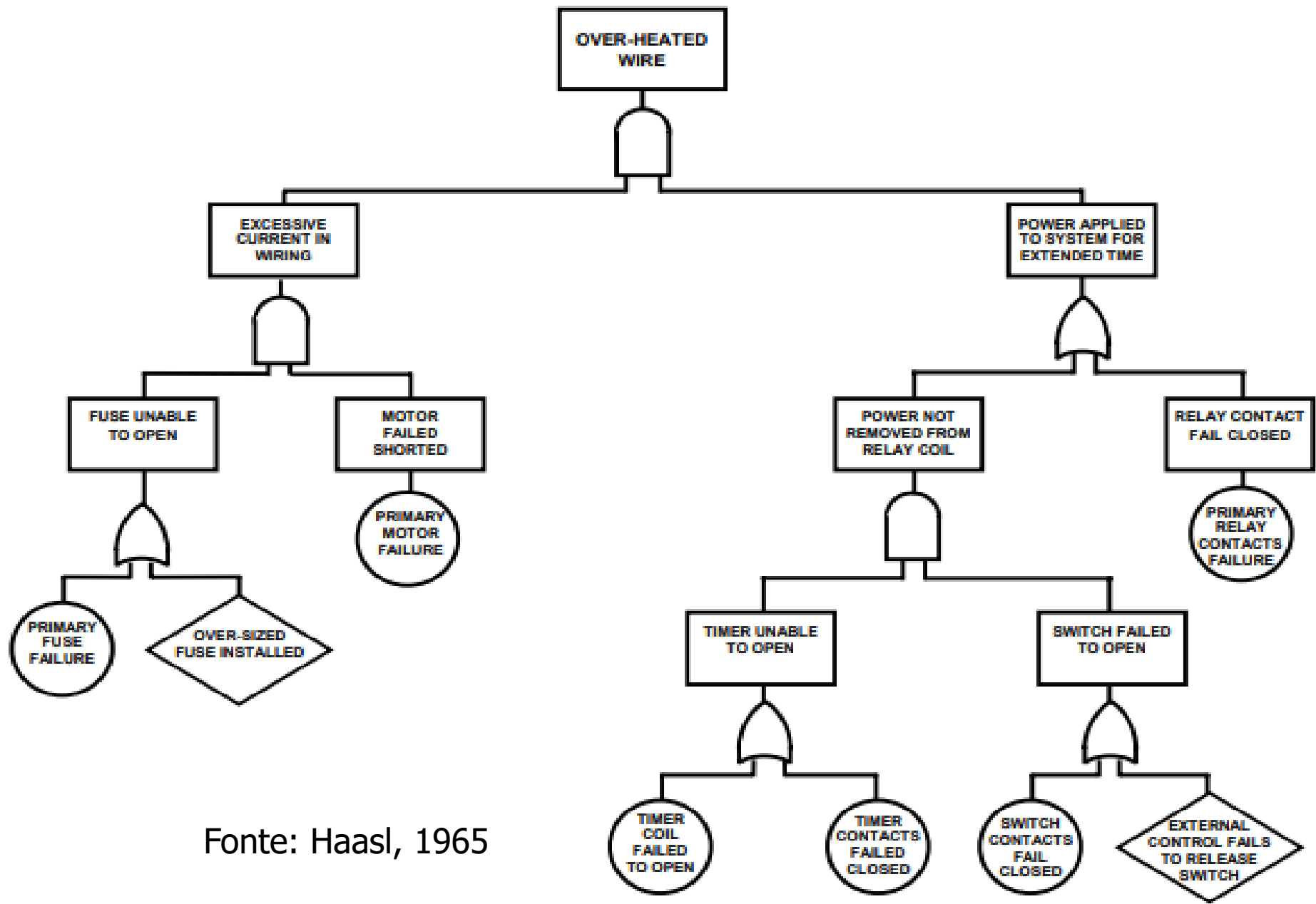
---

- Dados históricos da empresa
- Ensaio de bancada
- Análise de risco
- Simulação computacional:
  - CAFTA – Electric Power Research Institute (EPRI)
  - SAPHIRE – Idaho National Laboratory
  - SCRAM
  - Programação R (Pacote FaultTree)

# Exemplo



Fonte: Haasl, 1965



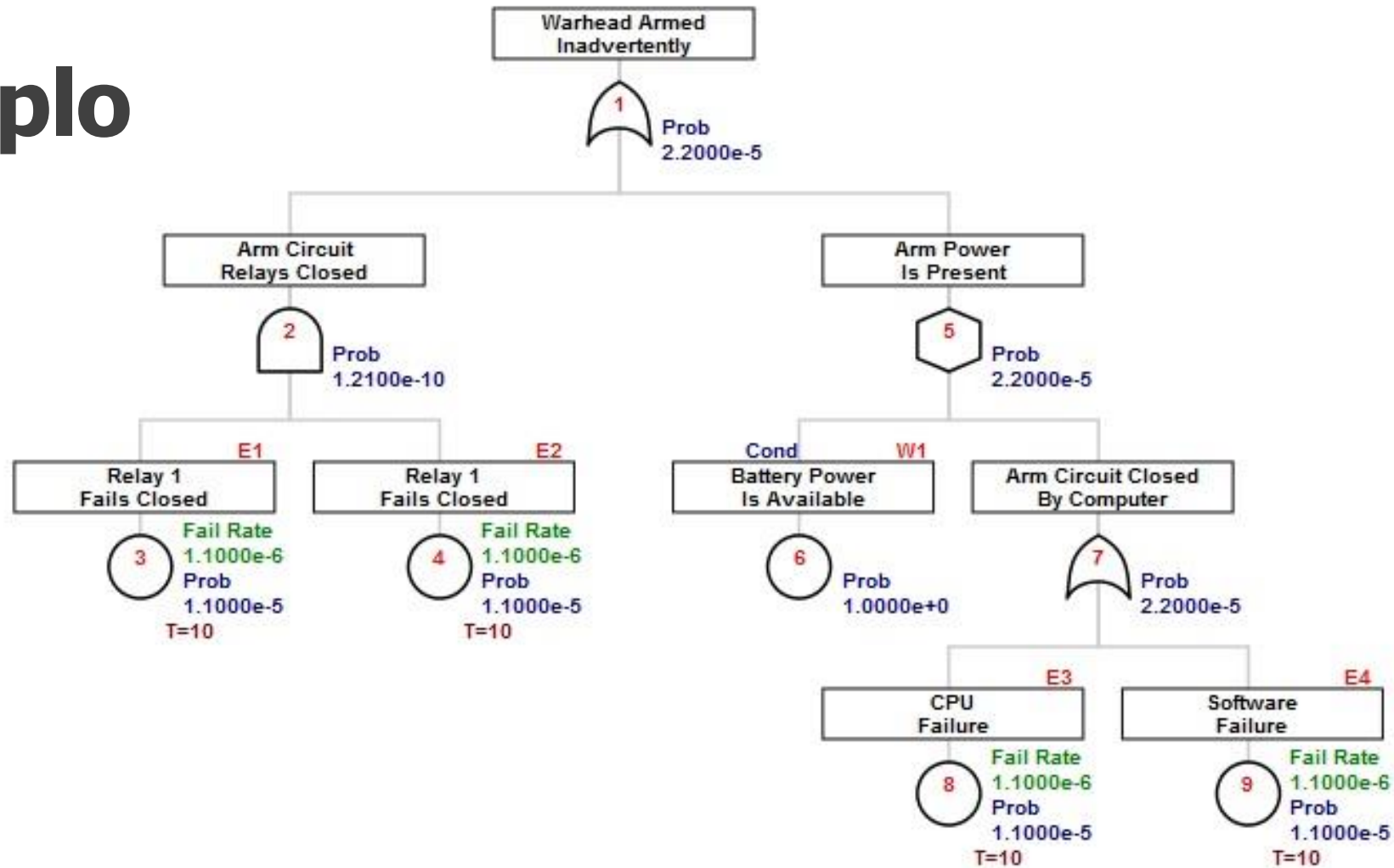
Fonte: Haasl, 1965



# Exemplo

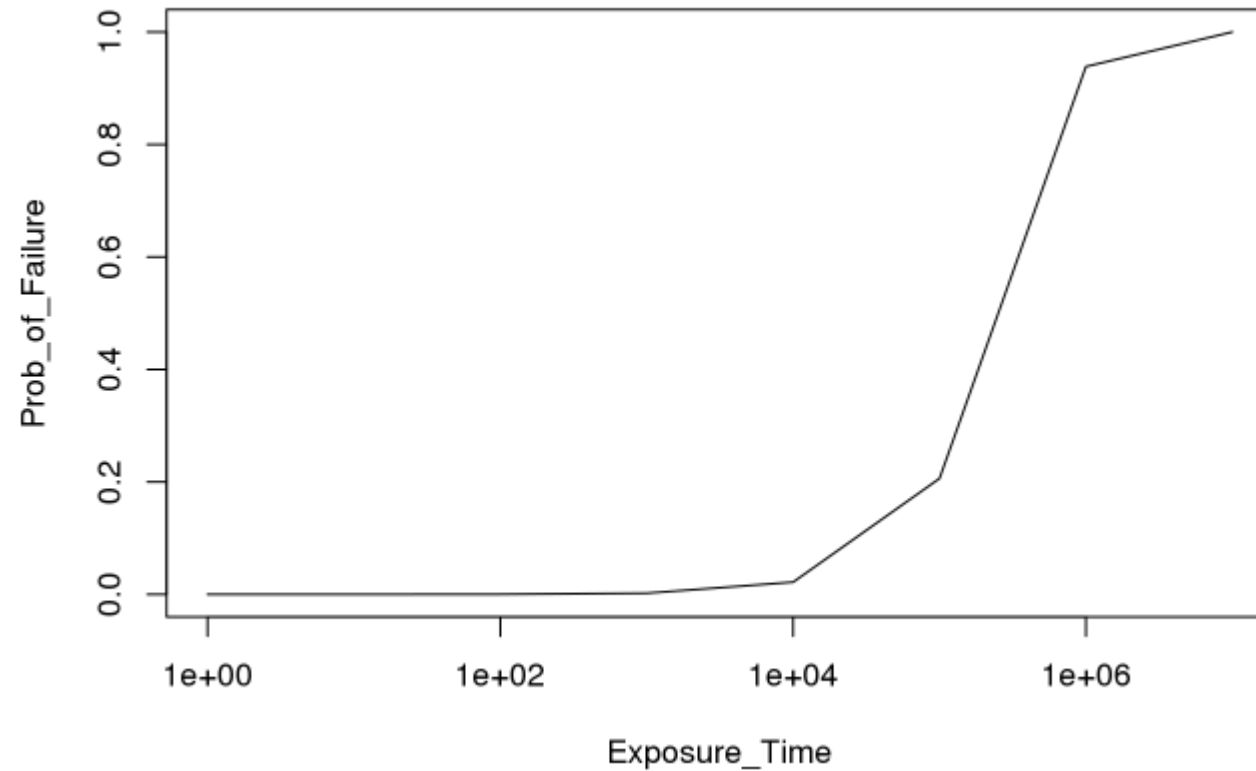
```
library(FaultTree)
arm1<-ftree.make(type="or", name="warhead Armed", name2="Inadvertently")
arm1<-addLogic(arm1, at= 1 , type="and", name="Arm Circuit", name2="Relays Closed")
arm1<-addExposed(arm1, at= 2, mttf=1/1.1e-6, exposure=10, tag="E1", name="Relay 1", name2="Fails Closed")
arm1<-addExposed(arm1, at= 2, mttf=1/1.1e-6, exposure=10, tag="E2", name="Relay 1", name2="Fails Closed")
arm1<-addLogic(arm1, at= 1, type="inhibit", name="Arm Power", name2="Is Present")
arm1<-addProbability(arm1, at= 5, prob=1, tag="w1", name="Battery Power", name2="Is Available")
arm1<-addLogic(arm1, at= 5, type="or", name="Arm Circuit Closed", name2="By Computer")
arm1<-addExposed(arm1, at= 7, mttf=1/1.1e-6, exposure=10, tag="E3", name="CPU", name2="Failure")
arm1<-addExposed(arm1, at= 7, mttf=1/1.1e-6, exposure=10, tag="E4", name="Software", name2="Failure")
arm1<-ftree.calc(arm1)
ftree2html(arm1, write_file=TRUE)|
```

# Exemplo



Fonte: Fault Tree Tutorial <<https://carlescg.github.io/FaultTreeTutorial/>>

# Exemplo



Fonte: Fault Tree Tutorial <<https://carlescg.github.io/FaultTreeTutorial/>>

# Referências Bibliográficas

---

W. S. Lee, D. L. Grosh, F. A. Tillman and C. H. Lie, "Fault Tree Analysis, Methods, and Applications - A Review," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. R-34, no. 3, pp. 194-203, Aug. 1985.

Baig A. A., Ruzli R., Buang, A. B., "Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A Review" *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 4, No. 3, Jun. 2013.

Sakurada, E. Y. - As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtor. Dissertação de mestrado em engenharia - UFSC, 2001.

Material Didático – Curso de Especialização em transporte ferroviário de carga IME <[http://www.sucena.eng.br/IME/Mod6\\_ArvoreFalhas2008.pdf](http://www.sucena.eng.br/IME/Mod6_ArvoreFalhas2008.pdf)>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

Haasl, D.F. Advanced Concepts in Fault Tree Analysis, System Safety Symposium, The Boeing Company, Seattle (1965) June 8-9, Available from the University of Washington Library, Seattle, Washington.

J.B.Fussell, A Review of Fault Tree Analysis with Emphasis on Limitations, IFAC Proceedings Volumes Volume 8, Issue 1, Part 3, 1975.