

Aplicação da Rede Bayesiana na Determinação do Dano Máximo Provável para fins de Seguros

Luiz Macoto Sakamoto¹

Escola de Negócios e Seguros, LabRisco USP

Marcos Coelho Maturana², Marcelo Ramos Martins³

LabRisco USP

ABSTRACT

Underwriting, which is insurance company activity to accept, reject or accept with modifications a proposed insurance coverage, uses several analysis mechanisms. Specifically, to medium and large property underwriting, one of the most important parameters is the Probable Maximum Loss. This parameter is based on the scenario of the occurrence of fire outbreak, in which the fire protection systems work properly. The relationship between Probable Maximum Loss and Fire Protection System is very close in two aspects. Firstly, the effectiveness of Fire Protective Systems reduces the Probable Maximum Loss, which is a good factor to underwriting point of view. Secondly, some types of risk occupation (like chemical, plastics, mattress, among others) have restriction for underwriting, and the underwriter consider Probable Maximum Loss as important factor to be analyze, those could be determinant to refuse the proposal. The risk with low probable maximum loss has less difficulty to be accepted in underwriting process.

The Probable Maximum Loss estimation involve elements with components that have random nature and conditional probability relationship. The purpose of this paper is proposing a procedure that reduces the degree of uncertainty and establishes a relationship between Probable Maximum Loss and the Fire Protection Systems Effectiveness.

1. INTRODUÇÃO

A subscrição de riscos é a atividade desenvolvida pela seguradora que seleciona os segurados e os riscos que irão compor sua carteira de negócios, desempenhando, portanto, função estratégica no mercado segurador e ressegurador.

Na subscrição de riscos dos seguros patrimoniais, principalmente naqueles de médio e grande porte, as consequências financeiras das exposições a perdas dos eventos em processo de subscrição são medidas através de parâmetros, como a Perda Máxima Possível (PMP) e o Dano Máximo Provável (DMP). A PMP representa o maior valor possível de perda decorrente de determinado evento, enquanto o DMP representa o cenário provável de perda considerando as condições operacionais encontradas por ocasião do evento.

Para ilustrar estes conceitos, consideremos uma organização sujeita a ocorrência do evento alagamento, em que o histórico mostra que o nível máximo atingido foi de um metro. Considerando que a organização ocupa dois andares com os valores distribuídos igualmente em cada um dos andares, temos que o DMP é de 50%, e a PMP é de 100%. O DMP de 50% é a perda esperada na ocorrência do evento, mas deve ser considerada a possibilidade da ocorrência de um evento que atinja o segundo andar, conduzindo a uma PMP de 100%.

Como regra geral, o evento Incêndio é o que mais demanda atenção e análise da subscrição de riscos patrimoniais. O DMP indica o valor da perda esperada considerando o funcionamento adequado dos sistemas de combate a Incêndio (extintores, hidrantes, sprinklers, etc.), isolamento por distância e barreiras físicas (paredes corta fogo, portas corta fogo, etc.). A PMP corresponde ao valor da perda no caso de inoperância dos sistemas de extinção existentes e demais medidas de isolamento, ou seja, o incêndio auto extingue-se. Na prática, a PMP corresponde ao valor do maior risco efetivamente isolado.

No evento Incêndio, quanto mais sistemas protecionais estiverem operantes na organização, menor será o DMP, e maior será o apetite da seguradora em subscrever o risco. Assim, os sistemas protecionais são decisivos na subscrição dos riscos patrimoniais, quer seja na precificação, quer seja na decisão de declinar a aceitação do risco.

Do ponto de vista da organização, são analisados os custos da implantação e manutenção dos sistemas protecionais e os benefícios obtidos com estes sistemas. Os benefícios vão desde a sensação de segurança propiciada pelos sistemas protecionais, até os benefícios financeiramente mensuráveis, como a redução do DMP. Esta redução propicia a redução dos custos do seguro, quer seja pelo prêmio, quer seja pelo menor valor das franquias ou participação obrigatória do segurado nos sinistros.

1 Engenheiro Eletricista – Escola de Negócios e Seguros, LabRisco USP

2 PhD, Engenheiro Naval - LabRisco USP

3 PhD, Engenheiro Naval – LabRisco USP

Particularmente para riscos considerados gravosos pelo mercado segurador, e para os quais existem restrições de aceitação, a determinação do DMP é fundamental para a negociação da subscrição por parte das seguradoras.

A montagem dos cenários para determinação do DMP é baseada fortemente na experiência dos profissionais envolvidos nesta atividade. A dificuldade desta atividade é a grande quantidade de fatores de comportamento probabilístico, gerando incerteza no valor do DMP. Essa incerteza induz ao cálculo do DMP de maneira conservadora, e os subscritores de riscos frequentemente solicitam melhorias nos sistemas protecionais que geram divergências quanto a sua real efetividade na redução do DMP.

2. ELEMENTOS DO DMP PARA UM EVENTO DE INCÊNDIO

O Dano Máximo Provável – DMP, que é tradução do termo em inglês Probable Maximum Loss, tem sido utilizado na subscrição dos riscos patrimoniais desde o século XIX. Para avaliação deste parâmetro, como regra geral, são utilizados critérios qualitativos, com pouca utilização de critérios quantitativos.

No evento Incêndio, os elementos geralmente utilizados na fixação do DMP são: (1) fonte de ignição, (2) carga incêndio da unidade onde ocorre a incidência da fonte de ignição, (3) foco de incêndio originado pela combinação da fonte de ignição com a carga incêndio, (4) a existência do comburente, no caso oxigênio, cuja presença é assumida na totalidade dos casos, (5) barreiras físicas para propagação do incêndio, como, dentre outras, isolamento por distância, isolamento por paredes e portas corta fogo, cortinas d'água, revestimentos retardantes a propagação, (6) barreiras por sistemas protecionais de combate a incêndio, como por exemplo extintores, hidrantes e sprinklers. Esses elementos são detalhados a seguir:

- (1) **Fonte de Ignição:** pode ser tanto de origem externa, citando queda de raio, variação da tensão da energia pela concessionária, dentre outras; como de origem interna, citando acidentes elétricos, calor fora de controle gerado no processo de produção, fogo intencional, dentre outros.
- (2) **Carga Incêndio:** ocorrendo a incidência da fonte de ignição, é necessário que haja material combustível suficiente para início do processo de Incêndio. A classificação da Carga Incêndio pode ser obtida em várias fontes, algumas delas cuja atualização foi descontinuada, mas que ainda servem de referência ao mercado segurador brasileiro, como a TSIB – Tarifa de Seguro Incêndio do Brasil [1], outras através de Instruções Técnicas que são utilizadas por instituições como o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo [2], e ainda por publicações internacionais como o Best's Loss Control Manual disponibilizado pela A.M. Best Company [3]. A classificação da Carga Incêndio de uma planta que esteja sendo analisada é obtida por sua ocupação principal, mas a fonte de ignição pode incidir em vários pontos da Organização, e não necessariamente naquela que seria a ocupação principal.
- (3) **Foco de Incêndio:** o Foco de Incêndio, que surge da combinação da fonte de ignição e da carga incêndio, poderá ter origem em locais cuja Carga Incêndio seja diferente da Carga Incêndio da classificação da planta em análise. Lembrando que a classificação da Carga Incêndio é um dos fatores de subscrição, existe incerteza quanto a correta classificação da Carga Incêndio do eventual foco de incêndio.
- (4) **Comburente:** assume-se que sempre haverá a presença de oxigênio.
- (5) **Barreiras Físicas:** serão consideradas o isolamento por distância e paredes corta fogo / portas corta fogo. Também não existe certeza sobre a efetividade destes isolamentos. Por exemplo, a área que é considerada para o isolamento por distância pode ser ocupada provisoriamente por depósito de mercadorias, ou as paredes / portas corta fogo podem ser ineficientes na ocorrência real de um Incêndio.
- (6) **Barreiras por Sistemas Protecionais:** os sistemas protecionais visam controlar um eventual Incêndio. Conforme referência [4], tendo ocorrido foco de Incêndio, os possíveis resultados são funcionamento do sistema protecional e a extinção do foco de incêndio, ou funcionamento do sistema protecional com o controle do foco de Incêndio e sem sua extinção, ou funcionamento do sistema protecional sem a contenção do foco de Incêndio, ou não funcionamento do sistema protecional. Assim, temos duas incertezas. A incerteza do funcionamento do sistema protecional quando solicitado, e no caso do seu funcionamento,

sua eficácia no controle e extinção do foco de Incêndio. Conforme referências [4,5] esses comportamentos probabilísticos dos sistemas protecionais são tratados como confiabilidade operacional, que diz respeito a prontidão da operação do sistema protecional, envolvendo as respostas do equipamento e dos operadores, e a confiabilidade de performance, que se refere a eficácia do sistema protecional em controlar e extinguir o Incêndio.

A própria fixação do DMP, que é baseada na construção de cenários conforme experiência do profissional envolvido na tarefa, tem grau de incerteza, pois depende da confiabilidade dos sistemas protecionais existentes.

Finalizando, a avaliação do DMP é composta de elementos de comportamento probabilístico, fato importante na modelagem do sistema.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

Os elementos que compõem o sistema em análise para fins da avaliação do Dano Máximo Provável têm característica probabilística e não determinística, como explanado na seção anterior. Adicionalmente, eles são interrelacionados, podendo ser tratados através de probabilidades condicionais. Exemplificando, a intensidade de um eventual Foco de Incêndio depende do tipo da Fonte de Ignição e da Carga Incêndio envolvida. Por sua vez, a avaliação do Dano Máximo Provável depende da intensidade do Foco de Incêndio e da efetividade dos sistemas protecionais existentes.

Também deve se considerar que existe grande quantidade de variáveis envolvidas, e se forem verificadas todas as relações existentes, teremos aumento exponencial do grau de dificuldade de análise. Assim, para a viabilizar a avaliação do Dano Máximo Provável é desejável o aglutinamento de variáveis, sem prejudicar a análise final. Por exemplo, o tempo de resposta dos Sistemas Protecionais pode ser incorporado na análise da Confiabilidade Operacional já apresentada na seção anterior.

A pesquisa de metodologia que permita o estudo deste sistema com as características descritas anteriormente conduz às Redes Bayesianas.

Conforme referência [6], a Rede Bayesiana é um modelo gráfico de probabilidades que representa o conjunto de variáveis randômicas e suas probabilidades condicionais, utilizando um gráfico direcionado acíclico. Esta rede é formada por parte qualitativa e parte quantitativa. A parte qualitativa é representada no gráfico direcionado acíclico, onde cada nó representa as variáveis do sistema, e os arcos mostram as dependências ou relações de causa-efeito entre as variáveis. A parte quantitativa consiste na CPT – Conditional Probabilistic Table que representa o relacionamento entre cada nó e seus nós pais.

Para simulação da Rede Bayesiana será utilizado o software Netica, e uma situação genérica pode ser visualizada na Figura 1 – Simulação de Rede Bayesiana utilizando software Netica.

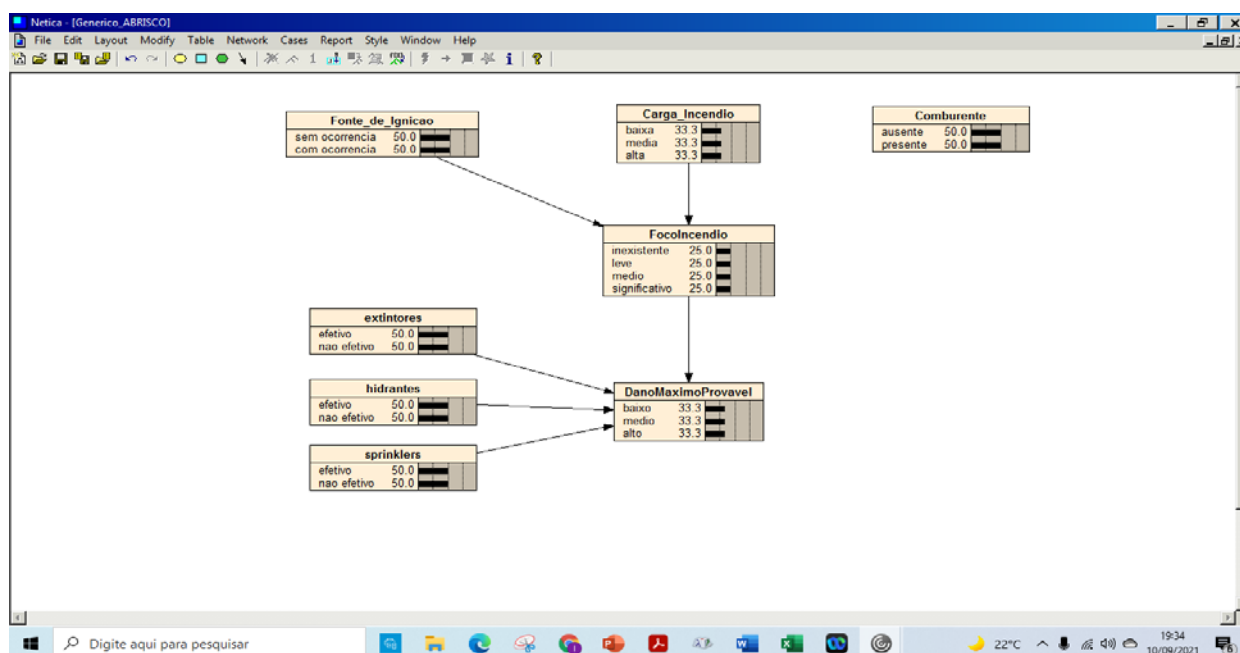


Fig.1 – Simulação de Rede Bayesiana utilizando software Netica

Na sequência apresentamos a análise de cada um dos nós que compõe a Rede Bayesiana apresentada na Figura 1.

3.1. Confiabilidade dos Sistemas Protecionais

Os sistemas protecionais podem incorrer em falhas na sua função de proteção, quer seja por projeto inadequado e/ou falhas na sua instalação, quer seja por falhas dos seus componentes quando acionados pela ocorrência de um evento incêndio.

Para estimativa da probabilidade da falha de um sistema protecional, temos as opções de utilizar bancos de dados (se existentes) de falhas do sistema, ou utilizar Árvore de Falhas para estimar a probabilidade do evento topo.

A utilização da Árvore de Falhas tem a vantagem de possibilitar a análise particularizada de um sistema de proteção, considerando, como exemplo, o tipo de bomba (diesel ou elétrica), o reservatório de água (subterrâneo ou elevado), a manutenção preventiva dos componentes do sistema, etc.

3.1.1. Sistema Protecional por Sprinklers

Após análise de várias fontes de dados históricos sobre confiabilidade do sistema de sprinklers encontrada na referência [4], selecionamos o dado fornecido pela FM Global, que indica confiabilidade entre 94% e 98%.

Na sequência, propomos estimar a confiabilidade do sistema de sprinklers através de Árvore de Falhas, que está representada na Figura 2 – Árvore de Falhas do Sistema de Sprinklers.

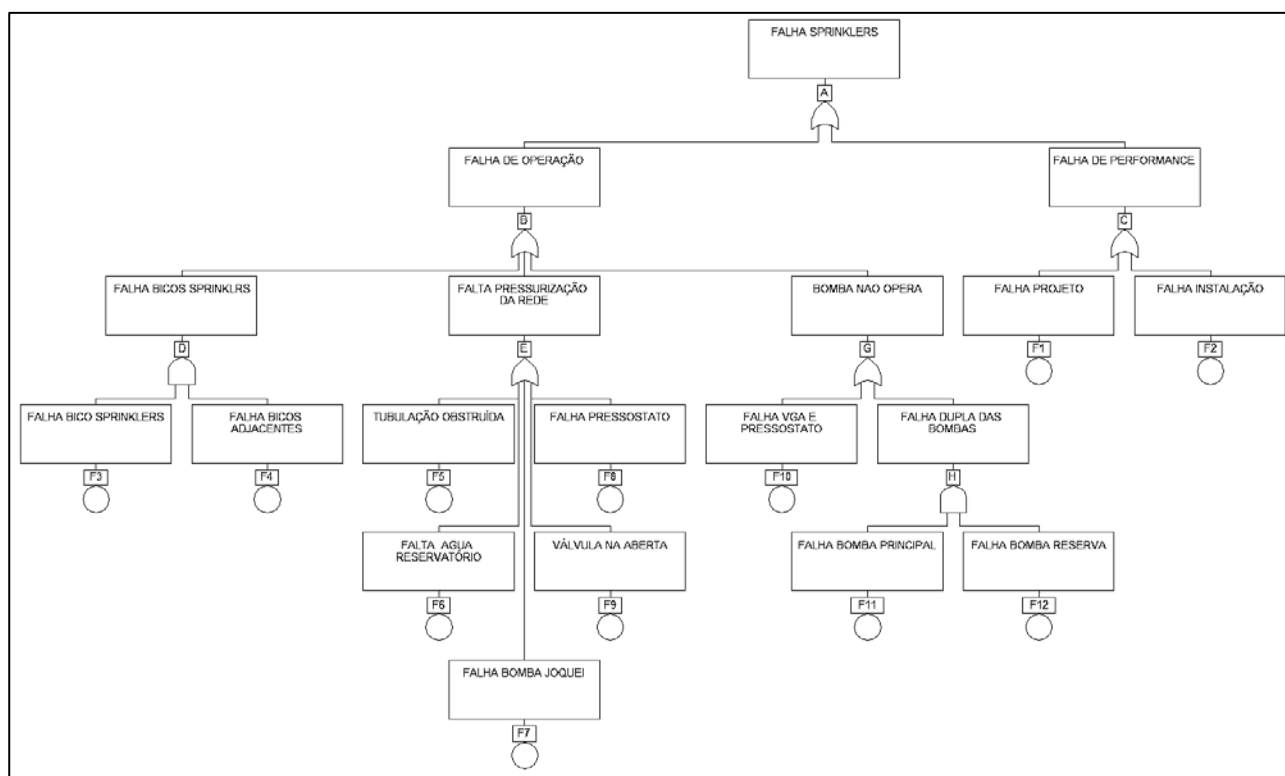


Fig.2 – Árvore de Falhas do Sistema de Sprinklers

Para estimativa das falhas dos componentes do sistema de sprinklers serão utilizadas tabelas encontradas em MALM DANIEL, PETTERSON ANN-IDA [4], e que são mostradas na Tabela 1 abaixo.

Tab.1 – Tabela de Falhas dos Componentes do Sistema de Sprinklers

FALHAS	VALOR	COMENTÁRIO
F1	-	F1*F2 determina a probabilidade do evento intermediário C. O evento C será calculado de forma indireta como indicado na Tabela 2.
F2	-	F1*F2 determina a probabilidade do evento intermediário C. O evento C será calculado de forma indireta como indicado na Tabela 2.
F3	7,82E-2	Sprinkler head reliability – failure
F4	7,82E-2	Sprinkler head reliability – failure
F5	7,30E-6	Sprinkler piping reliability – pipe array + gasket failure
F6	1,80-E3	Sprinkler system water supply reliability – depende do tipo de reservatório – utilizado pumped supply
F7	1,27E-2	Sprinkler system pump reliability – elétrica
F8	4,77E-3	Sprinkler system valve reliability – pressure reducing
F9	6,30E-6	Sprinkler system valve reliability – closed inadvertently
F10	1,40E-2	Fail to start
F11	1,27E-2	Sprinkler system pump reliability – elétrica
F12	8,41E-2	Sprinkler system pump reliability – diesel

Finalizando, serão calculadas as probabilidades dos Eventos Intermediários que levará ao Evento Topo, conforme demonstrado na Tabela 2 – Probabilidade dos Eventos Intermediários e Evento Topo.

Tab.2 – Probabilidade dos Eventos Intermediários e Evento Topo

EVENTO	CÁLCULO	FALHA	COMENTÁRIO
A	B + C	3,12E-02	
B	D + E + G	2,38E-02	
C		7,42E-03	A estimativa da falha de 7,42E-03 é indicada na sequência
D	F3 * F4	6,12E-03	
E	F5 + F6 + F7 + F8 + F9	1,77E-02	
G	F10 + H	1,50E-02	
H	(F11 * F12) * 0,95	1,01E-03	considerado 5% de falha comum

Em MALM DANIEL, PETTERSON ANN-IDA [4] temos que a ocorrência de falhas do sistema de sprinklers é de 94,7% nos caso de seu acionamento. Destas falhas, 14% são devidas a “innappropriate system for the fire”, que significa que houve falha de performance por falha de projeto ou falha na instalação do sistema de sprinklers. Assim, a probabilidade da falha de performance C é estimada em $(100\% - 94,7\%) * 14\% = 0,742\%$.

Concluindo, a falha do sistema de sprinklers, representada na árvore de falhas por $A = B + C$, numa situação teórica é de 3,12%, valor que é coerente com o banco de dados de valores históricos da FM Global que indica confiabilidade de 94% a 98%.

3.1.2. Sistema Protetional por Hidrantes

O Sistema Protetional por Hidrantes deve contar com pessoal habilitado e treinado no seu manuseio, o que implica na necessidade da inclusão do fator humano na árvore de falhas. Portanto, o correto funcionamento do sistema de hidrantes tem como componentes de análise: falha de performance, falha de operação e falha humana, conforme visualizado na Figura 3 - Árvore de Falhas dos Sistema de Hidrantes.

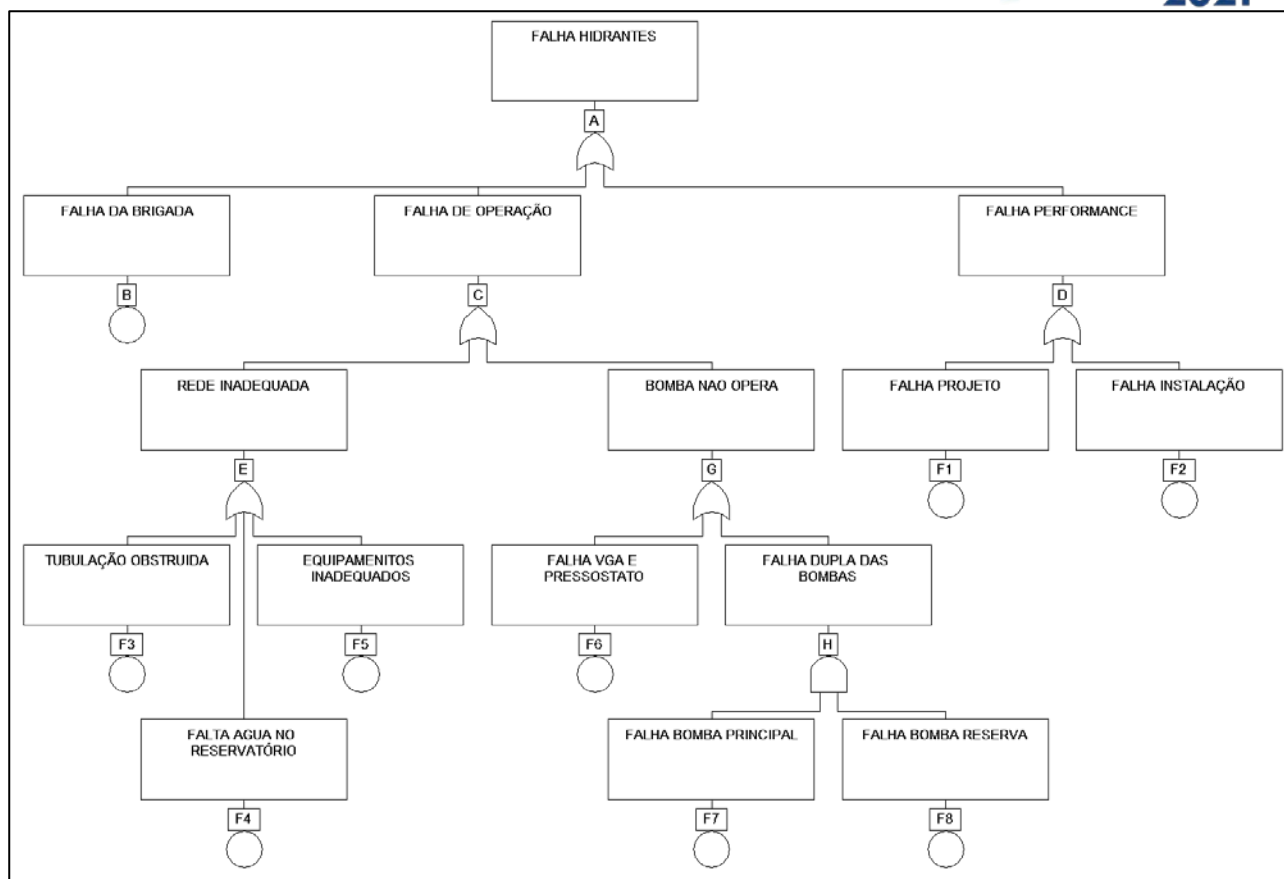


Fig.3 – Árvore de Falhas do Sistema de Hidrantes

Para determinação da probabilidade de Falha da Brigada indicada na árvore de falhas por B, será utilizada a técnica quantitativa descrita por Maturana [7,8]. Aplicando esta técnica, as atividades humanas da brigada de incêndio são fracionadas, organizadas de acordo com uma taxonomia de ações humanas, e a cada uma destas funções é associada uma função de densidade de probabilidade de erro humano. A combinação das probabilidades de falha humana das várias partes fracionadas conduz à probabilidade de falha da atividade, no caso em análise, a probabilidade de Falha da Brigada.

Para análise da Falha Humana da Brigada, inicialmente as atividades da função da brigada são decompostas em: estado de prontidão para atendimento ao incidente, tempo de resposta adequado ao início do combate ao incêndio, montagem da linha de combate dos hidrantes, combate ao incêndio.

Para entendimento das atividades do domínio psicomotor da brigada de incêndio, valendo-se da metodologia apresentada por Maturana [7], e utilizando a Taxonomia de Harrow, obtêm-se a Tabela 3 - Categorias do Domínio Psicomotor – Taxonomia de Harrow.

Tab.3 – Categorias do Domínio Psicomotor - Taxonomia de Harrow

Atividade	Categoria	Descrição	Ações Humanas
H1 - Estado de prontidão para atendimento ao incidente	Movimento reflexivo	Reagir automaticamente (involuntariamente) a um estímulo.	Reagir
H2 - Tempo de resposta adequado ao início do combate ao incêndio	Movimento básico	Mudar de posição, mover, realizar uma ação simples.	Caminhar
H3 - Montagem da linha de combate dos hidrantes	Movimento básico	Inclui os movimentos básicos que podem compor grupos mais complexos de movimentos fundamentais: movimento locomotor, não locomotor e manipulação.	Alcançar
H4 - Combate ao incêndio	Habilidade Física	Atividades que requerem resistência, força, vigor e agilidade; que exigem maior desenvolvimento das habilidades físicas (resistência, força, flexibilidade e agilidade).	Controlar

Seguindo a aplicação da metodologia, uma vez entendidas as atividades que compõe a função da brigada de incêndio, essas atividades são categorizadas na dimensão “processo cognitivo” e ações humanas associadas, o que permite obter a Probabilidade do Erro Humano – HEP.

O resultado é apresentado na Tabela 4 – Atividades da Brigada de Incêndio e a Probabilidade de Erro Humano.

Tab.4 – Atividades da Brigada de Incêndio e a Probabilidade de Erro Humano

Atividade	Categoria	Descrição	Processos Cognitivos				Human Error Probability HEP
			Processo	Descrição	Ações Humanas	Código	
H1 Estado de prontidão para atendimento ao incidente	Aplicar	Realizar ou usar um procedimento em uma situação determinada. Usar informações em situações diferentes daquela de obtenção do conhecimento.	Executar	Realizar um objetivo ou cumprir uma ordem em situação conhecida	Executar	A_C_3a	9,38E-02
H2 Tempo de resposta adequado ao início do combate ao incêndio			Executar	Realizar um objetivo ou cumprir uma ordem em situação conhecida	Executar	A_C_3a	9,38E-02
H3 Montagem da linha de combate dos hidrantes			Executar	Realizar um objetivo ou cumprir uma ordem em situação conhecida	Executar	A_C_3a	9,38E-02
H4 Combate ao incêndio			Implementar	Resolver problemas em novas situações pela aplicação de conhecimento, fatos, técnicas e regras.	Implementar	A_C_3b	1,1E-01

Como a falha em qualquer das atividades da Brigada de Incêndio conduz à falha da brigada propriamente dita, temos que a Probabilidade da Falha da Brigada representada na árvore de falhas por B será o somatório das falhas individuais de cada atividade. Deve-se considerar que o combate ao incêndio pela brigada é feito por uma equipe, e cada equipe é composta por três brigadistas por linha de combate. Eventuais falhas nas atividades H1, H2 e H3 poderão ser recuperadas pelos outros membros da equipe. Assim, para as falhas H1, H2 e H3 deverá ocorrer a falha da recuperação pelos outros dois elementos da equipe. Considerando que o comportamento dos brigadistas são independentes, o HEP (Human Error Probability) das atividades H1, H2 e H3 será $(9,38E-02) \times (9,38E-02) \times (9,38E-02) = 8,25E-04$. Como a probabilidade de falha da brigada é o somatório de H1, H2, H3 e H4, temos que $B = 1,12E-01$.

Na árvore de falhas do sistema de hidrantes, a Falha da Operação C ocorre quando temos a falha da Rede Inadequada E ou Bomba Não Opera G.

Conforme indicado na árvore de falhas, a probabilidade da rede inadequada E corresponde ao somatório de F3, F4 e F5.

Considerando a similaridade dos componentes hidráulicos das Redes de Hidrantes e Sprinklers, adotaremos os parâmetros utilizados na rede de sprinklers, ou seja, F3 (tubulação obstruída) = $7,30E-06$ e F4 (falta água no reservatório) = $1,80E-03$.

Para equipamentos inadequados (falta de mangueiras, engates, esguichos) considera-se falha operacional F5 equivalente a válvula fechada de uma válvula normalmente aberta do sistema de sprinklers, ou seja, $F5 = 6,30E-06$.

Como a probabilidade da Rede Inadequada é $E = F3 + F4 + F5$, temos que $E = 1,81E-03$.

O evento intermediário Bomba Não Opera G, será, por similaridade a da rede de sprinklers estimada em $G = 1,50E-02$.

Assim, para a Falha de Operação C temos $C = E + G = 1,68E-02$.

Quanto à Falha de Performance D, por similaridade dos sistemas hidráulicos, adotaremos a Falha de Performance calculada para a Rede de Sprinklers, ou seja, $D = 7,42E-03$.

Finalizando, a estimativa de Falha do Sistema de Hidrantes A é estimada como sendo:

$$A = B + C + D = 1,12E-01 + 1,68E-02 + 7,42E-03 = 1,36E-01.$$

Portanto, a probabilidade de falha do Sistema de Hidrantes é de 13,6%.

3.1.3. Sistema Protecional por Extintores

A Falha do Sistema Protecional por Extintores ocorre quando temos a incidência de, pelo menos, uma das seguintes falhas: Falha da Brigada, Falha de Operação ou Falha de Performance.

Para estimativa da probabilidade de Falha dos Extintores será utilizada a árvore de falhas representada na Figura 4 - Árvore de Falhas do Sistema de Extintores.

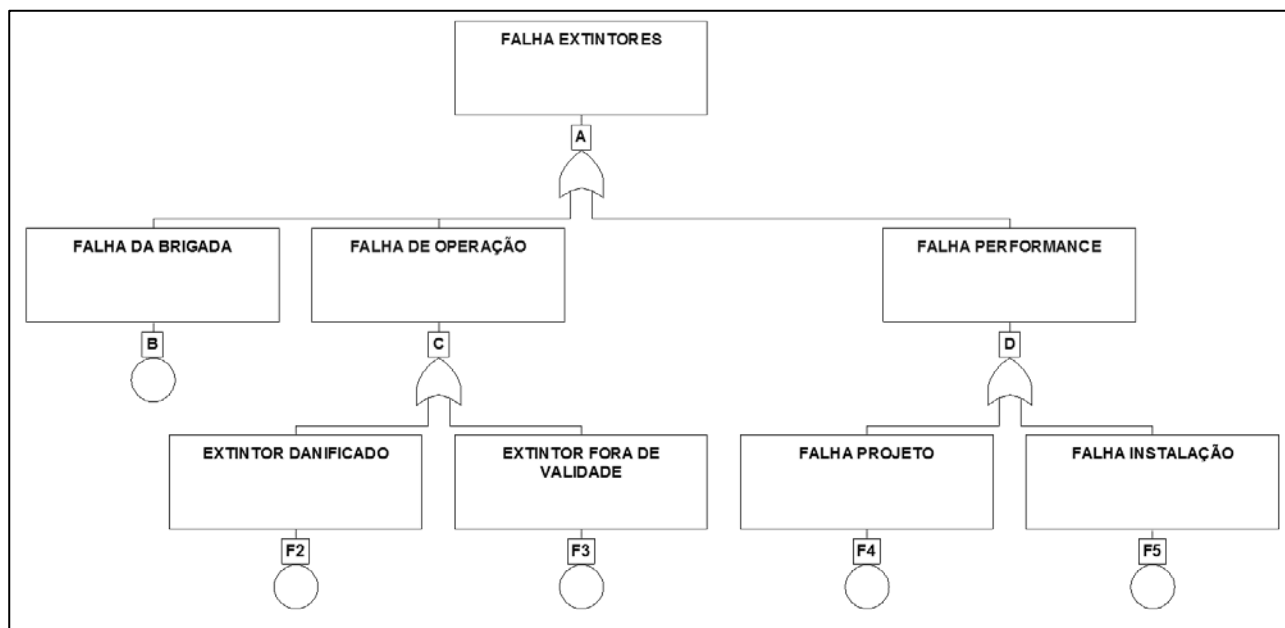


Fig.4 – Árvore de Falhas do Sistema de Extintores

A ação da brigada com o uso de extintores ocorre em princípios de incêndio, sendo necessários tempo de resposta adequado e combate adequado. Para a falha da brigada representada na árvore de falhas por B, serão utilizados os dados de falha humana analisados no sistema de hidrantes. Desta forma, obtêm-se a Tabela 5 – Atividades da Brigada de Incêndio e a Probabilidade de Erro Humano.

Tab.5 – Atividades da Brigada de Incêndio e a Probabilidade de Erro Humano

Atividade	Categoria	Descrição	Processos Cognitivos				Human Error Probability HEP
			Processo	Descrição	Ações Humanas	Código	
E1 Tempo de resposta adequado ao início do combate ao incêndio	Aplicar	Realizar ou usar um procedimento em uma situação determinada. Usar informações em situações diferentes	Executar	Realizar um objetivo ou cumprir uma ordem em situação conhecida	Executar	A_C_3a	9,38E-02
E2 Combate ao incêndio			Implementar	Resolver problemas em novas	Implementar	A_C_3b	1,11E-01

		daquela de obtenção do conhecimento.		situações pela aplicação de conhecimento, fatos, técnicas e regras.			
--	--	--------------------------------------	--	---	--	--	--

A Falha da Brigada B é a soma das probabilidades E1 e E2, ou seja, $B = 2,05E-01$.

A Falha da Operação C compreende a Falha Extintor Danificado F1 ou Falha Extintor Fora da Validade F2. Em Tillander [9] temos que o uso dos extintores sem a extinção de incêndio corresponde a 19%. O levantamento da U.S. Coast Guard [10], na situação específica de extintores de pó químico utilizados em embarcações, encontrou o percentual de falha dos extintores de 13% (17 falhas em 117 testes). Assim para a Falha de Operação C será adotado a probabilidade de falha de 19%.

Para a Falha de Performance D será adotada a probabilidade de falha desenvolvida para o sistema de sprinklers, ou seja, $7,42E-03$.

A Falha do Sistema de Extintores A corresponde a soma das probabilidades B, C e D, ou seja, $A = 2,05E-01 + 19E-02 + 7,42E-03 = 4,02E-01 = 40,2\%$.

3.2 Fonte de Ignição

Em TILLANDER KATI [9] é apresentado estudo de frequência média de ignição por tipo de ocupação. Para ocupação industrial ou armazenagem é indicada frequência de ignição $11,1E-06$ por metro quadrado e por ano.

Para fins de simulação a ser desenvolvida neste artigo, será considerado que a instalação tem 1.000 m^2 , e por consequência, a frequência de ignição é de $11,1E-03 = 1,11\%$ ao ano.

3.3 Carga Incêndio

Será utilizada, como parâmetro, a Publicação Nº 49 do IRB [1]. Nesta publicação são encontradas 13 classes de ocupação, a quais serão agrupadas em Carga Incêndio baixa, média e alta, conforme Tabela 6 - Tabela de Correspondência da Classe de Ocupação IRB para Carga Incêndio.

Tab6 – Tabela de Correspondência da Classe de Ocupação IRB para Carga Incêndio

Classe de Ocupação IRB	Carga Incêndio
1, 2 e 3	baixa
4, 5, 6, 7	média
7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	alta

No trabalho de campo de inspeção de riscos, os riscos isolados são classificados pela sua ocupação mais agravada. Considerando que a ocupação dos compartimentos de incêndio são dinâmicas em função da operação do dia a dia, será adotada a Tabela 7 - Distribuição da Carga Incêndio por Risco Isolado, conforme segue:

Tab7 - Distribuição da Carga Incêndio por Risco Isolado

Carga Incêndio do Risco Isolado	Carga baixa	Carga média	Carga alta
baixa	70%	20%	10%
média	20%	70%	10%
alta	5%	15%	80%

Para fins da simulação a ser apresentada, será considerada a Carga Incêndio do Risco Isolado com sendo Média, o que conduz a distribuição da carga incêndio de 20% para carga baixa, 70% para carga média e 10% para carga alta.

3.4 Fonte de Calor

A combinação da Fonte de Ignição com a Carga Incêndio gera Foco de Incêndio, que serão classificados em Inexistente, Leve, Médio e Significativo.

3.5 Dano Máximo Provável - DMP

Para avaliação quantitativa do Dano Máximo Provável, será definido Compartimento de Incêndio como sendo unidades isoladas por distância ou barreiras físicas (paredes corta fogo, portas corta fogo, etc.).

O Dano Máximo Provável - DMP de um compartimento de incêndio será resultado da combinação do Foco de Incêndio com os Sistemas Protecionais existentes na planta em análise.

Utilizando a Rede Bayesiana simulada através do software Netica, temos como exemplo de simulação a Figura 5 – Dano Máximo Provável com os sistemas de proteção extintores, hidrantes e sprinklers.

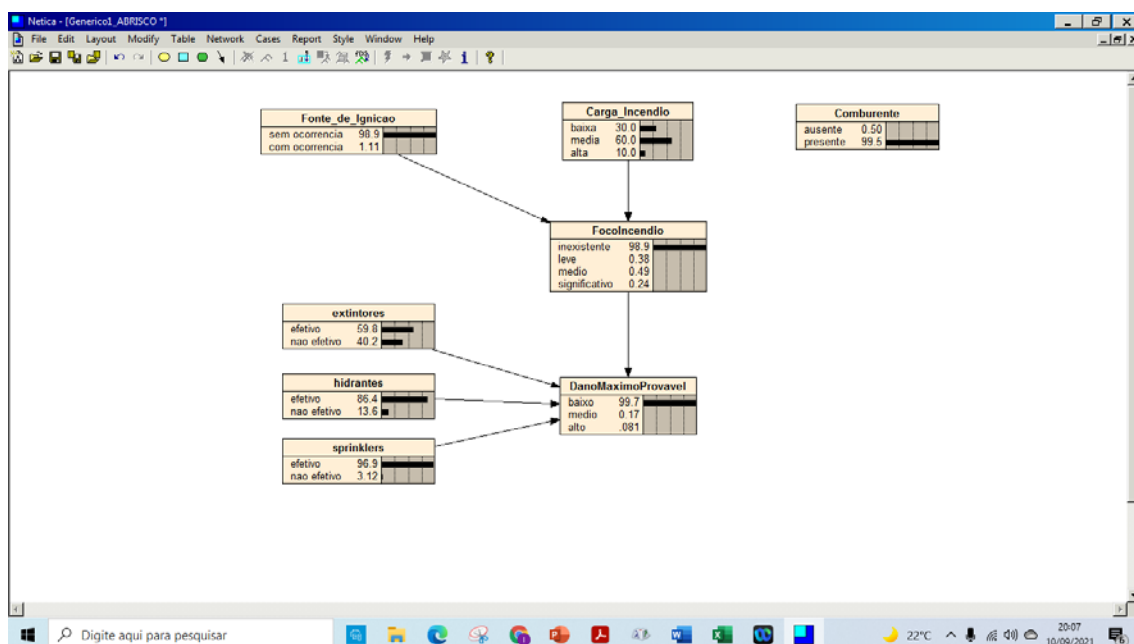


Fig.5 – Dano Máximo Provável com os sistemas de proteção extintores, hidrantes e sprinklers

Para cada Compartimento de Incêndio identificado, deverá ser analisada a probabilidade de propagação para outro(s) compartimento(s) de incêndio.

Para análise da probabilidade de propagação de um compartimento de incêndio para outro, deverão ser considerados o DMP médio ou alto do compartimento de incêndio de origem do incêndio, a eficácia do isolamento por distância, e a eficácia das barreiras físicas (paredes corta fogo, portas corta fogo, dentre outras).

Para cada um dos Compartimentos de Incêndio atingidos pela propagação deverá ser aplicado o processo descrito, e assim sucessivamente.

O somatório dos valores (em moeda) dos DMPs do(s) compartimento(s) de incêndio conduzirá ao DMP (em moeda) da planta em análise.

4. RESULTADOS ALCANÇADOS ATÉ O MOMENTO

A utilização da modelagem propiciou reflexão sobre os fatores qualitativos que se relacionam e influenciam na avaliação do Dano Máximo Provável.

A exploração dos fatores quantitativos e seu inter-relacionamento permitiram a primeira versão de um modelo para sua estimativa. Um resultado importante foi o desenvolvimento da árvore de falhas dos sistemas protecionais, permitindo a análise individual de diversos fatores, e como sua alteração influencia na confiabilidade de cada sistema protecional.

O modelo também permitirá estimar qual a redução do Dano Máximo Provável decorrente da implantação de sistemas protecionais, o qual será parâmetro de análise de comparação com os custos da implantação e manutenção dos sistemas protecionais.

5. PRÓXIMOS PASSOS

O sistema para determinação do Dano Máximo Provável utilizando a Rede Bayesiana ainda está em desenvolvimento, necessitando para sua complementação a obtenção de dados estatísticos dos fatores envolvidos na modelagem.

Para aplicação do modelo genérico em casos concretos serão utilizadas organizações reais, como por exemplo uma distribuidora de alimentos, com valor em risco de R\$ 70 milhões, e protegida por sistemas de extintores, hidrantes e sprinklers.

A aplicação do modelo em casos reais propiciará ajustes no modelo, num processo de melhoria contínua do modelo.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho pretende ser o primeiro passo de uma jornada que visa incorporar e refinar a análise de sistemas protecionais, isolamento por distância e barreiras físicas na avaliação do Dano Máximo Provável do evento Incêndio.

7. REFERÊNCIAS

- [1] PUBLICAÇÃO Nº 49 IRB, “Tarifa de Seguro Incêndio do Brasil”, *Instituto de Resseguros do Brasil*, Rio de Janeiro, (1997);
- [2] INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 14/2018, “Carga de Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco”, *Polícia Militar do Estado de São Paulo – Corpo de Bombeiros*, São Paulo, (2018);
- [3] BEST’S HAZARD INDEX, “Best’s Loss Control Manual”, *AM Best Information Services*, Estados Unidos da América, (2020);
- [4] MALM DANIEL, PETTERSON ANN-IDA, “Reliability of Automatic Sprinkler System”, *Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety*, Lund University, Sweden, Report 5270, (2000);
- [5] KHALID MOINUDDIN, IAN THOMAS, SAMINA CHEA, “Estimating the Reliability of Sprinkler Systems in Australian High-rise Office Buildings”, *Centre for Environmental Safety and Risk Engineering Victoria University*, Australia, (2008);
- [6] BAOPING CAI, LEI HUANG, MIN XIE, “Bayesian Networks in Fault Diagnosis”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 13, nº 5, (2017);
- [7] MATURANA MARCOS COELHO, “Consideração da Confiabilidade Humana na Concepção de Sistemas Complexos: Desenvolvimento e Aplicação da TECHR”, *Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica*, São Paulo, (2017);
- [8] MATURANA MARCOS COELHO, MARTINS MARCELO RAMOS, FRUTUOSO E MELLO P. F. F., “Application of a Quantitative Human Performance Model to the Operational Procedure Design of a Fuel Storage Pool Cooling System”, São Paulo, *Elsevier Ltd.*, (2021);
- [9] TILLANDER KATI, “Utilisation of Statistics to Assess Fire Risks in Buildings”, *Dissertation for the Degree of Doctor of Science in Technology at Helsinki University of Technology*, Espoo, Finland, (2004);
- [10] UNITED STATES COAST GUARD, “Reliability of Portable Fire Extinguishers in Use on Motor Boats”, *U.S. Coast Guard Research and Development Center*, Estados Unidos da América, (1983).