

# ***Dow Fire and Explosion Index – Uma nova proposta para projetos de sistemas de combate a incêndio na Indústria Petroquímica***

## **Mateus Marques Tisott**

Engenheiro Químico, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos

Av. Unisinos 950, 93022-000, São Leopoldo, RS

[mateustisott@gmail.com](mailto:mateustisott@gmail.com)

## **Pablo Ricardo Barreira**

Engenheiro Químico, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos

Av. Unisinos 950, 93022-000, São Leopoldo, RS

[pablo.barreira@braskem.com.br](mailto:pablo.barreira@braskem.com.br)

---

### **Resumo**

Este artigo sugere a utilização de um novo índice para cálculo de sistemas de combate a incêndio, o Dow Fire and Explosion Index (DF&EI), que se caracteriza por ser uma ferramenta de cálculo que determina as áreas de maior potencial de perda em um determinado processo. Ele também permite prever os danos físicos que ocorreriam em caso de um incidente.

O trabalho está dividido em 5 capítulos, Introdução, Motivação, Normas Existentes, Método Proposto e Conclusão.

Na introdução é apresentado o modo como a Indústria Petroquímica realiza os projetos de sistemas de combates a incêndio. Na motivação é sugerida a realização destes projetos com base em inventários individualizados de cada equipamento de processo, e não em áreas industriais como é feito atualmente. No terceiro capítulo é apresentada uma breve revisão dos métodos de projeto utilizados atualmente (normas e conceitos). Já no quarto capítulo é apresentada a sugestão da utilização do DF&EI para projeto de sistemas de combate a incêndio, e por fim, no quinto capítulo tem-se a conclusão e sugestão para trabalhos futuros..

**Palavras-chave:** índice dow, petroquímica, petróleo, sistemas de combate a incêndio, projeto.

### **Abstract**

This paper suggests the use of a new index for calculating systems of fire fighting, the Dow Fire and Explosion Index (DF & EI), which is characterized as a calculation tool that determines the areas of greatest potential for loss in a given process . The index allows predicting the physical damage that would occur in the event of an incident.

The article is divided into five chapters, Introduction, Motivation, Existing Rules, Proposed Method and Conclusion

In the introduction is shown how the Petrochemical Industry performs design of the fire fighting system. In motivation chapter is suggested to do this projects based on the inventory of each individual process equipment, and not in all industrial areas, as is currently done. The third chapter provides a brief review of the design methods used today (standards and concepts). In the fourth chapter is presented the suggestion of using the DF&EI to design of fire fighting systems, and finally, the fifth chapter presents the conclusion and suggestion for future works.

**Key words:** dow index, petrochemical, oil, petroleum, fire fighting system, project.

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria petroquímica tem como característica intrínseca de seu modo produtivo um grande risco associado. São características dos processos petroquímicos grandes inventários de produtos inflamáveis e tóxicos. Estes, não raro, encontram-se em condições de pressão e temperaturas elevadas. Esta combinação de fatores (produtos perigosos, condições severas de pressão e temperatura) possibilita a ocorrência de cenários de acidentes com consequências catastróficas.

De modo a evitar esses acidentes catastróficos a indústria petroquímica vem, com o passar do tempo, aumentando o nível de confiabilidade, as camadas de proteção dos sistemas de segurança de modo a minimizar a ocorrência (frequência) destes acidentes. Porém mesmo com uma grande preocupação preventiva, de modo a evitar que os acidentes aconteçam, se faz necessária a instalação de sistemas de combate a emergência, que tem por função entrarem em ação no caso da ocorrência de acidentes (liberação de inventário perigoso – inflamável).

Os principais dispositivos de combate a emergência dizem respeito a sistemas de combate a incêndio. O projeto destes sistemas deve ser baseado em normas, na maioria das vezes internacionais, visto que no Brasil a gama de normas existentes não engloba todas as situações.

A partir do estudo de algumas das principais normas para sistemas de combate a emergência pode-se afirmar que a NFPA (National Fire Protection Association) do API (American Petroleum Institute) tem uma grande quantidade de publicações; a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) conta com normas principalmente para combate a emergência em parque de tanques à pressão atmosférica. Algumas empresas de referência como PETROBRAS, BRASKEM e SHELL contam com normas próprias.

Muito embora existam uma série de normas para dimensionamento de sistemas de combate a emergência as mesmas tem foco em sistemas de armazenamento e tanque (parque de esferas, parque de tanque atmosférica). Levando isto em conta percebe-se uma deficiência normativa para o projeto de sistemas de combate a incêndio em unidades de processo.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma breve revisão dos métodos existentes na bibliografia e propor uma nova metodologia de projeto de sistemas de combate a incêndio em unidades de processamento, com base no DOW FIRE AND PROTECTION INDEX (DF&EI), uma ferramenta de cálculo que determina as áreas de maior potencial de perda em um

determinado processo. Ele também permite prever os danos físicos que ocorreriam em caso de um incidente.

## **2 MOTIVAÇÃO**

Existem normas de projeto de redes de incêndio para unidades como um todo, porém as mesmas não levam em conta os inventários mais perigosos dentro da unidade. Uma vez, o projeto das redes leva em conta a área da unidade e o tipo de produto processado, sem individualizar os inventários e equipamentos dentro de uma mesma unidade.

Assim, este trabalho sugere a aplicação do índice Dow de modo a definir as prioridades de combate a incêndio dentro de cada processo, e desta maneira dimensionar a distribuição dos equipamentos (canhões monitores e hidrantes), bem como a necessidade de água, com base nos inventários mais perigosos de cada unidade produtiva.

## **3 NORMAS EXISTENTES**

Neste capítulo, são apresentados fatores básicos que devem ser considerados em projetos de sistemas de incêndio, como tipos de incêndio, métodos de combate a incêndio, principais agentes extintores e sistemas de proteção.

### **3.1 TIPOS DE INCÊNDIO**

Produtos químicos perigosos, líquidos, gases são armazenados e processados de diversas maneiras potencialmente perigosas, que podem resultar em incêndio. É fundamental que seja feita uma avaliação criteriosa de todos os materiais utilizados no processamento e armazenamento quanto ao seu potencial de incêndio.

Os hidrocarbonetos são fontes de diversos tipos de incêndio. O modo de queima depende das características físico-químicas do material, das condições de pressão e temperatura em que o mesmo se encontra dentro do processo, das condições ambientais externas ao processo e do tempo até que ocorra a ignição. Quando se trata de indústria petroquímica, os principais modos de queima/explosão são:

- Jato de fogo;
- Incêndio em nuvem não confinada;
- Incêndio em poça;

- BLEVE (Boiling Liquid Expandign Vapor Explosion – explosão do vapor de expansão de um líquido pressurizado) ou bolas de fogo;

Outras possibilidades existem, como, por exemplo, fogo em metais (caso de catalisadores contendo sódio), materiais pirofóricos (alumínio), incêndio em subestações elétricas.

### **3.2 METODOS DE COMBATE A INCÊNDIO**

Os sistemas de combate a incêndio devem ser projetados de modo alcançar os seguintes objetivos:

- Extinção do fogo;
- Controle do incêndio;
- Redução da exposição de instalações vizinhas;
- Prevenção ao incêndio.

Os sistemas de extinção referem-se a mecanismos que combatem o incêndio de modo a extingui-lo por completo. Em certas situações isto não é possível, parte-se então para o controle do mesmo, onde o principal objetivo é de impedir que as proporções do incêndio aumentem e atinjam outras áreas da unidade.

A redução da exposição é o procedimento de resfriamento com água de estruturas próximas ao foco principal do incêndio de modo a minimizar os danos sobre as mesmas.

A prevenção consiste em atuar diretamente no material inflamável, diminuindo os inventários armazenados, diluindo-o ou trabalhando com o produto sob condições de pressão e temperatura baixas. Muitas vezes por necessidade do processo isto não é possível.

### **3.3 AGENTES EXTINTORES**

Os principais agentes extintores utilizados na industria petroquímica são:

- Água;
- Espuma;
- Dióxido de Carbono;
- Pó químico seco;

Água – Utilizada em incêndios classe A, pode ser utilizada em alguns combustíveis classe B. Pode atuar como um agente extintor (incêndio classe A) ou como agente de controle e redução da exposição (incêndio classe B) e ainda como agente de dispersão de material inflamável ou tóxico.

Dióxido de Carbono – Utilizado em incêndios classe C, subestações de energia e outras situações em que seja necessária a utilização de agentes extintores não condutores elétricos, ou se deseje a minimização da formação de resíduos, visto que o dióxido de carbono é um gás. Seu meio de extinção é através da remoção do oxigênio do ambiente. Trata-se de um agente asfixiante, por isso o projeto de instalação deve ser realizado com cuidado e preferencialmente em áreas em que não haja a ocupação de pessoas.

Pó químico seco – Usualmente utilizam com agentes, extintores bicarbonato de sódio ou de potássio, que recebem um tratamento de modo a torná-los absoverntes de umidade. Atuam removendo o óxigênio do ambiente. Não possuem muita utilização na indústria petroquímica, apenas em prédios adminsitrativos.

Outro meio de combate a emergência são os sistemas de proteção passiva, que compreendem o espaçamento dos inventários perigosos de acordo com o layout proposto da unidade; os sistemas de fireproofing (estruturas de concreto especiais, tintas anti-chamas, cabeamento de fios elétricos anti-chamas, etc.); sistemas de dique de contenção e drenagem; classificação de áreas e utilização de instrumentos a prova de explosão; ventilação adequada, facilitando a dispersão dos vapores inflamáveis; aterramento das estruturas metálicas. Estes sistemas, embora sejam fundamentais na estrutura de combates a emergências de uma industria de petróleo ou petroquímica, não são escopo deste trabalho. Passa-se agora a tratar especificamente dos sistemas ativos de proteção.

### **3.4 SISTEMAS ATIVOS DE PROTEÇÃO**

Os sistemas de proteção são dimensionados considerando a ocorrência de um único evento acidental de grandes proporções. Nesta seção serão apresentadas as possíveis fontes de suprimento de água, bem como o cálculo da demanda de água para cada unidade com base nos conceitos atualmente apresentados nas normas que tratam deste assunto, além da maneira como deve ser projetado o sistema de distribuição de água de combate a incêndio em uma unidade petroquímica.

### **3.4.1 Suprimento de água**

#### ***3.4.1.1 Sistemas de suprimento de água natural***

Tais sistemas como mar, rios e lagos podem ser considerados infinitos. Porém água de rio e lagos, podem obstruir linhas e sprinklers devido aos sedimentos e formação algas. Por isso, tais sistemas devem ser sistematicamente testados. Já a água marinha é sabidamente corrosiva para a tubulação.

#### ***3.4.1.2 Tanques e reservatório***

Outra possibilidade é realizar o armazenamento da água de combate a incêndio em reservatórios especialmente construídos com tal finalidade. Em relação aos sistemas de suprimento natural de água, esta modalidade apresenta vantagens e desvantagens. Como vantagens, pode-se citar o fato da água poder receber tratamento, minimizando a corrosão das tubulações e a possibilidade de obstrução das linhas devido à formação de sedimentos ou algas, desta maneira reduz-se a necessidade de teste dos sistemas de incêndio. Como desvantagem este sistema apresenta um reservatório finito de água, de acordo com as dimensões dos tanques de armazenamento. O projeto dos tanques deve ser realizado considerando a necessidade de suprimento de no mínimo duas horas para unidades de risco baixo, porém um suprimento de 4 horas da vazão máxima requerida pode ser necessário para unidades que apresentem um risco maior.

Caso as unidades apresentem grandes inventários de inflamáveis, mais de quatro horas de suprimento se fazem necessárias. Alternativas para casos onde se necessite de mais de quatro horas de suprimento são a utilização de redes de empresas próximas, água de resfriamento ou ainda água da rede municipal de combate a incêndio.

### **3.4.2 Cálculo da demanda de água de combate a incêndio**

O conceito da demanda de água de combate a incêndio é a taxa máxima de água necessária a qualquer momento aplicada a um único evento de incêndio, este deve ser o maior incêndio possível da planta de interesse. Usualmente se considera que apenas uma unidade (área) está envolvida no incêndio. Caso a distância entre as unidades sejam inferiores a 15 metros a área dessas unidades adjacentes deve ser considerada para fins de cálculos. Caso a quantidade da água demandada em uma unidade de processo seja inferior a água que é demandada por um tanque ou parque de armazenamento, o sistema de proteção deve ser projetado levando em conta o parque de armazenamento.

O cálculo da demanda de água é feito com base na área de cada unidade, desde que a distância entre as unidades seja superior a 15 metros. Esta vazão não deve ser nunca inferior a 11.400 litros/minuto.

Quando houver mais de um nível, a área que estiver no andar inferior deve ser somada duas vezes no somatório total da área da unidade. Caso o sistema de proteção conte com sistema de spray fixo de água ou sprinklers, esta vazão deve ser somada na demanda da água de combate a incêndio da unidade. De posse da área da unidade o cálculo da demanda de água é realizado com base na Figura 3.1 onde (CCPS, 2003):

Curva A – Unidades que processam materiais leves, com potencial de gerar nuvem explosiva e inventário superior 10.000 galões (37,85 m<sup>3</sup>).

Curva B – Unidades com materiais de alto ponto de fulgor, que não vaporizem e inventário inferior a 10.000 galões (37.85 m<sup>3</sup>)

Curva C – Unidades com materiais combustíveis

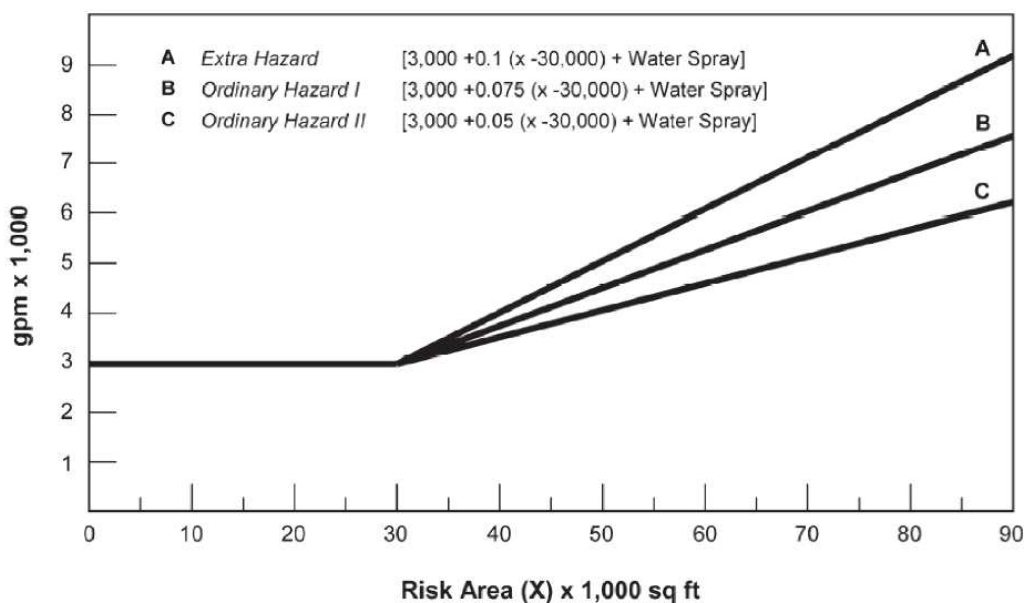


Figura 3.1 – Demanda de água de combate a incêndio com base na área da unidade – Fonte *Guidelines for Fire Protection in Chemical, Petrochemical, and Hydrocarbon Processing Facilities*. (CCPS, 2003)

A confiabilidade do sistema de combate a incêndio deve ser tal que a baixa de uma fonte de suprimento de água não reduza mais que 50 % de toda água requerida pela unidade.

### **3.4.3 Distribuição do sistema de combate a incêndio**

A distribuição do sistema de águas de combate a incêndio se dá, usualmente na forma de um anel que envolve toda a unidade. O mesmo deve ter a capacidade de fornecimento de água para combate do maior evento único, conforme apresentado no item 3.4.2.

Para o dimensionamento do sistema de distribuição de água diversos fatores devem ser levados em conta, tais como pressões máxima e mínima da água no sistema, diâmetro, material e localização (aérea ou enterrada) das tubulações, tipos de válvula e por fim, o espaçamento entre hidrantes e canhões monitores.

Estes elementos, no entanto, são consagrados e este trabalho não propõe a alteração dos mesmos. Assim estão listados aqui em nível de conhecimento da necessidade de atentar aos mesmos quando do projeto de um sistema de combate a incêndio.

## **4 METODO PROPOSTO**

Neste capítulo será apresentado o Índice Dow, suas variáveis e método de cálculo.

Trata-se de um dos índices mais amplamente utilizado desde a sua criação em 1967. A AIChE (American Institute of Chemical Engineers) descreve o DF&EI (Dow Fire and Explosion Index) como um índice quantitativo baseado em dados históricos, no potencial energético dos materiais em avaliação, servindo como instrumento na prevenção de perdas e gerenciamento de riscos. Além disso, o DF&EI é uma ferramenta que ajuda os engenheiros a estarem cientes dos perigos de cada unidade de processo, facilitando na tomada de decisões quanto à severidade e a probabilidade de um potencial acidente.

O DF&EI relaciona os riscos com as informações de processo (condições do processo, materiais, tipo de equipamento) avaliando se as mesmas aumentam ou diminuem a criticidade do cenário. O índice deve ser baseado no pior caso, ou seja, o material mais perigoso deve ser avaliado na pior condição de processo (p. e. partida, operação normal ou final de campanha). (Suardin, J. – 2005)

### **4.1 MÉTODO DE CÁLCULO**

O algoritmo de cálculo do DF&EI é apresentado de maneira simplificada na Figura 4.1.

O primeiro passo para a determinação do DF&EI é a escolha da unidade a ser estudada, para isso alguns fatores importantes devem ser levados em conta, tais como potencial de energia liberada em caso de sinistro, quantidade de material perigoso, custo da interrupção de processo da unidade, condições de pressão e temperatura de operação, histórico de acidentes em unidades semelhantes. Porém no caso de utilizar o DF&EI como critério de



projeto para sistema de combate a incêndio o mesmo deve ser aplicado em todas as unidades que contiverem material perigoso armazenado ou em processamento.

O DF&EI é composto de dois fatores, o fator de perigo de processo da unidade (Process Unit Hazard Factor – F3) e o fator do material (Material Factor – MF). O F3 é determinado com base no fator de perigo geral do processo (General Process Hazard Factor – F1) e no fator de perigo específico do processo (Special Process Hazard Factor – F2). O DF&EI é determinado pelas equações (4.1) e (4.2). (Suardin 2005, apud AIChE, 1994).

$$F_3 = F_1 \times F_2 \quad (4.1)$$

$$DF\&EI = MF \times F_3 \quad (4.2)$$

Nas seções seguintes serão discutidos cada um dos parâmetros F1, F2, F3 e MF.

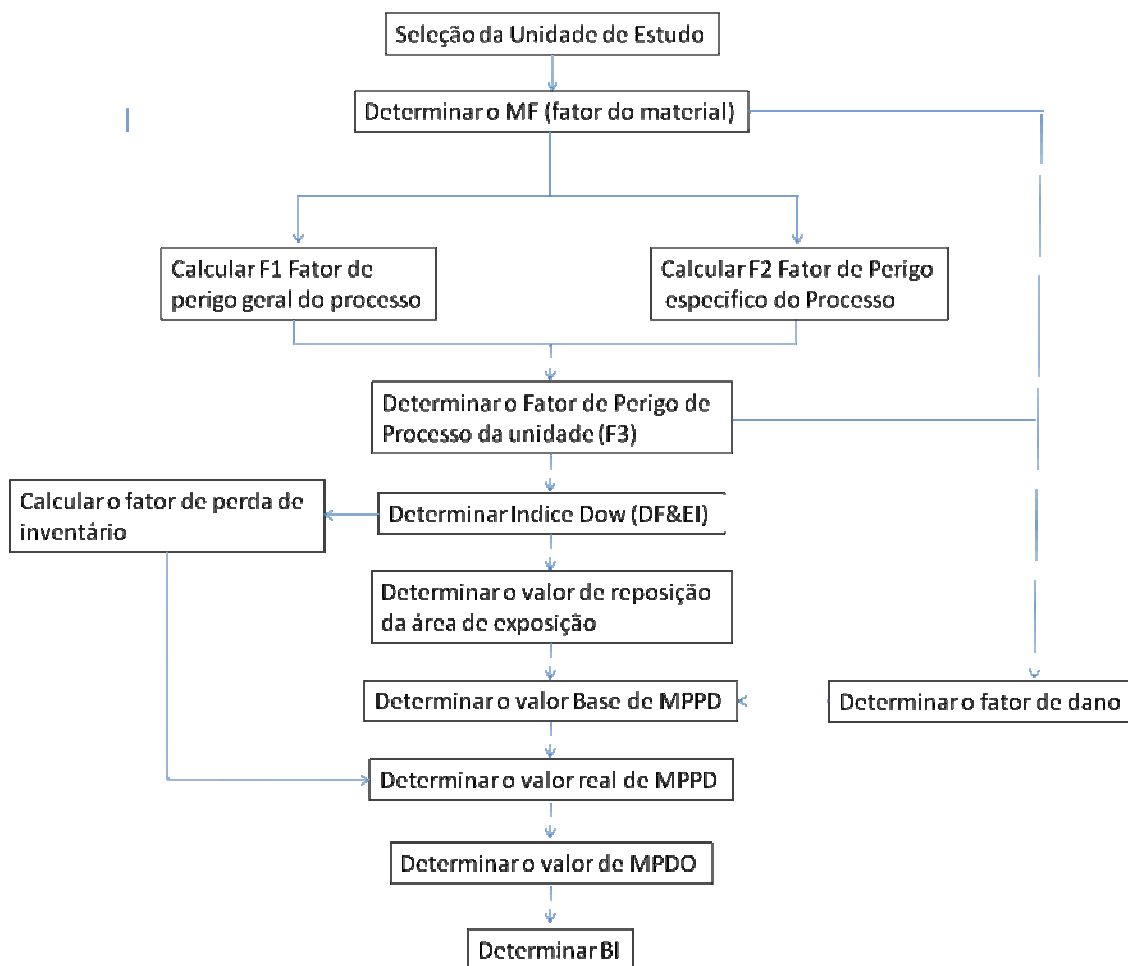


Figura 4.1 – Algoritmo de cálculo do *Dow Fire & Explosion Index* (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994)

## 4.2 Fator Material (MF)

O Fator Material é a taxa de liberação de energia potencial, causada pela explosão ou incêndio, produzida por combustão ou reação química, intrínseca de cada substância. É o ponto de partida básico para o cálculo do DF&EI e desempenha um papel crítico na determinação do índice. O MF é obtido através do valor de reatividade (NR) e inflamabilidade (NF). (Suardin, 2005). Na Tabela 4.1 são apresentados alguns dos MF de materiais tipicamente encontrados na indústria petroquímica.

Para MF de outros produtos, podem ser consultados a NFPA 704, o Dow Fire and Explosion Index Guide (AIChE – 1994), bem como as FISPQS dos produtos químicos. Caso o produto de interesse não tenha seu MF determinado o mesmo pode ser calculado a partir do NF e NR. O NF e NR são aplicados até 60 °C, acima deste valor o MF deve ser ajustado pelo “Ajuste de temperatura do fator material”. O fator de inflamabilidade (NF) e o fator de reatividade (NR) são apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

Tabela 4.1 – Alguns fatores de MF típicos (Chemical Engineering Design, Sinnott, R. K. et all - 2005).

	MF	Ponto de Fulgor °C	Calor de Combustão MJ/Kg
Acetaldeído	24	-39	24,4
Acetona	16	-20	28,6
Acetileno	40	Gás	48,2
Amônia	4	Gás	18,6
Benzeno	16	-11	40,2
Butano	21	Gás	45,8
Cloro	1	-	0
Ciclohexano	16	-20	43,5
Hidrogênio	21	Gás	120
Nitroglicerina	40	-	18,2
Tolueno	16	40	31,3
Cloreto de Veneza	21	Gás	18,6

Tabela 4.2 – Classificação de NF e guia para determinação de MF (Suardin, 2005 – apud AIChE, 1994)

Líquidos e Gases Flamabilidade (1)	NFPA 352 M ou 49	Reatividade ou Instabilidade				
		NR=0	NR=1	NR=2	NR=3	NR=4
Não combustíveis (2)	NF=0	1	14	24	29	40
PF>93,3 °C	NF=1	4	14	24	29	40
37,7°C < PF < 93,3°C	NF=2	10	14	24	29	40
22,8 °C < PF < 37,8 °C ou FP < 22,8 °C e PB ≥ 37,8 °C	NF=3	16	16	24	29	40
PF<22,8 °C e PB<37,8 °C	NF=4	21	21	24	29	40

<b>Poeiras ou névoas combustíveis (3)</b>						
St-1 (Kst ≤ 200 bar m/sec)		16	16	24	29	40
St-2 (Kst = 201-300 bar m/sec)		21	21	24	29	40
St-3 (Kst > 300 bar m/sec)		24	24	24	29	40
<b>Combustíveis Sólidos</b>						
Denso (espessura maior 40 mm) (4)	NF=0	4	14	24	29	40
Aberto (espessura inferior a 40mm) (5)	NF=1	10	14	24	29	40
Espuma, fibras, poeira, etc. (6)	NF=2	16	16	24	29	40
PF = Ponto de Fulgor						
PB = Ponto de Bolha						

**Notas:**

- (1) – Inclui sólidos voláteis
- (2) – Não queima em mistura com ar exposto a 815 °C durante 5 minutos
- (3) – Os valores de Kst são para 16 litros ou mais em teste de vazo fechado com fonte de ignição forte
- (4) – Inclui madeiras com espessura nominal de 2 polegadas, lingotes de magnésio
- (5) – Inclui material granulado grosseiro como pellets de plástico, material de demolição, pellets de madeira
- (6) – Inclui produtos de borracha (pneu), isopor, etc.

Tabela 4.3 – Descrição qualitativa para determinação de N<sub>R</sub> (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994)

NR=0	Materiais normalmente estáveis, mesmo em condições de fogo, incluídos: Materiais que não reagem com água Materiais que apresentam comportamento exotérmico em temperaturas entre 300 e 500 °C
NR=1	Materiais normalmente estáveis, mas instáveis em condições de pressão e temperatura elevadas, inclui: Materiais que se decompõem quando expostos ao ar, luz ou umidade Materiais que apresentam comportamento exotérmico em temperaturas entre 150 e 300 °C
NR=2	Materiais que prontamente reagem violentamente em condições elevadas de Pressão e Temperatura, tais como: Materiais que apresentam comportamento exotérmico em temperaturas inferiores a 150 °C Materiais que reagem violentamente ou formam misturas explosivas com a água.
NR=3	Material capaz de detonação ou decomposição explosiva, ou reação na disponibilidade de fonte de ignição forte ou aquecido em ambiente fechado, tais como: Materiais sensíveis a choque térmico ou mecânico em P e T elevadas Material que reagem explosivamente com água, mesmo em ausência de calor ou confinamento.
NR=4	Material facilmente capaz de detonação ou decomposição explosiva em condições normais de P e T. Materiais sensíveis a choque térmico ou mecânico em condições normais de P e T.

O ajuste de temperatura só se aplica quando a temperatura do processo é superior a 60°C. Não se faz necessário ajuste de temperatura para materiais que possuam reatividade e ponto de fulgor inferior a 60°C e sejam processados em temperaturas superiores a 60°C. O mesmo deve ser realizado de acordo com a Tabela 4.4. O termo "Exotherm start", mostrado na Tabela 4 é a temperatura na qual o calor gerado pela reação química é detectado em um ARC (Accelerating Rate Calorimeter) ou calorímetro similar. (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994).

Tabela 4.4 – Ajuste de temperatura para determinação do MF (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994)

	Nf	St	Nr
A. Informar Nf (St para poeiras) e Nr			
B. Se a temperatura do processo for inferior a 60 °C, vá para E			
C. Se a temperatura de processo for superior a 60° C, ou o produto está acima do ponto de fulgor aplique 1 no Nf			
D. Se a temperatura está acima da "exotherm start" ou da temperatura de auto-ignição aplique 1 no Nr			
E. Some as colunas, se a soma der 5 substitua por 4.			
F. A partir do valor da linha E e da Tabela 2 determine o MF			

### 4.3 Fator de Perigo da Unidade (Process Unir Hazard Factor – F<sub>3</sub>)

O Fator de Perigo da Unidade (F3) engloba todos os fatores passíveis de contribuir para a ocorrência de acidentes envolvendo incêndio ou explosões. O mesmo tem o seu valor determinado pelos índices de Fator de Perigo Geral do Processo (F1) e pelo Fator de Perigo Específico do Processo (F2) que serão descritos a seguir.

#### 4.3.1 Fator de Perigo Geral do Processo

Historicamente o Fator de Perigo Geral de processo tem desempenhado um importante papel na determinação da magnitude de acidentes. Este fator abrange seis itens: (i) reações químicas exotérmicas, (ii) processos endotérmicos, (iii) manuseio e transferência de produtos, (iv) unidades de processo fechadas, (v) acesso e (vi) drenagem e controle de vazamentos. Não necessariamente são aplicadas todas as análises a um mesmo caso. (Suardin, 2005)

**(i) Reações químicas Exotérmicas:**

Este item diz respeito apenas ao reator onde ocorre a reação química. As reações químicas são classificadas em diferentes categorias e cada categoria recebe uma penalização em relação ao índice. As reações consideradas são:

- Reações exotérmicas suaves (hidrogenação, hidrólise, isomerização, sulfonação e neutralização) – penalidade de 0,3
- Reações exotérmicas moderadas (Alquilação, esterificação, reações de adição, oxidação, polimerização e condensação) – penalidade de 0,5
- Reações exotérmicas de controle crítico (halogenação) – penalidade de 1,0
- Reações exotérmicas particularmente sensíveis (nitração) – penalidade de 1,25

**(ii) Reações Endotérmicas:**

Todos os processos endotérmicos recebem uma penalidade de 0,2, a menos que a energia do processo seja fornecida por um combustível, sólido, líquido ou gasoso quando a penalidade passa a ser de 0,4.

**(iii) Manuseio e Transferência de Produtos:**

Esta penalização considera o perigo potencial de incêndio em uma unidade de processo durante o processamento, a transferência e o armazenamento do material. Processo de carga e descarga de inflamáveis Classe I ou produtos tipo GLP com linhas que podem ser conectadas ou desconectadas (mangotes) requerem uma penalização de 0,5.

O ar presente em centrifugas, reatores em bateladas, ou mixers (em atmosferas inertizadas ou não) que podem criar uma condição de inflamabilidade ou reatividade requerem uma penalização de 0,5.

Prédios ou pátios de armazenamento envolvendo produtos potencialmente inflamáveis requerem penalidades de 0,8, 0,65, 0,4 e 0,25 dependendo do nível de inflamabilidade dos produtos armazenados. A inexistência de sistemas de sprinkler adiciona 0,2 de penalidade.

**(iv) Unidades de Processo Fechadas:**

Uma área fechada é definida quando possui cobertura e é fechada por três ou mais lados, ou quando não possuindo cobertura possui parede de todos os lados. Unidades de processo ao

ar livre possuem mecanismos de ventilação, via de regra, mais eficientes que ventilação forçada a menos que o sistema de ventilação seja projetado para coletar todo o material combustível e dispersá-lo.

As categorias de penalização para unidades de processo fechadas são:

- Para coletores de pó localizados em uma área fechada, penalização de 0,5
- Manuseio de inflamáveis a uma temperatura acima do seu ponto de fulgor - Penalização de 0,3 para inventários abaixo de 3.785 litros e 0,45 para inventários superiores a este valor.
- GLP ou outros líquidos inflamáveis processados em temperaturas acima do seu ponto de ebulição em uma área fechada requerem uma penalização de 0,6 para inventários inferiores a 4.534 Kg e 0,9 para inventários superiores a este valor.
- As penalizações acima previstas devem ser reduzidas pela metade se o prédio contar com sistema de ventilação projetado para combate a incêndio.

**(v) Acesso:**

As unidades de processo devem ter acesso adequado, contendo no mínimo acesso por dois lados distintos, um acesso a uma rua. Unidades de processo com área superior a 929 m<sup>2</sup> e armazéns com área superior 2323 m<sup>2</sup> com acesso inadequado serão penalizados em 0,35.

**(vi) Drenagem e controle de vazamento:**

Acidentes envolvendo vazamentos de inflamáveis, geralmente ocorrem ou são potencializados devido sistemas de drenagem inadequados. Esta penalização se aplica a produtos com ponto de fulgor inferior a 60°C ou que sejam processados acima do seu ponto de fulgor. Há dois principais fatores de penalização, o primeiro está relacionado com o volume total de inflamável; e o segundo, se a água de combate a incêndio é suficiente para combater o incêndio causado pelo montante de material inflamável armazenado. A drenagem é calculada pela combinação dos seguintes volumes:

- Para instalações de processamento e armazenamento, o volume total utilizado é dado pela equação abaixo (Suardin, 2005 apud AIChE,1994):

Volume total = 100% da capacidade do maior tanque + 10% segundo maior tanque

- Assumir mais 30 minutos de vazão de água de combate a incêndio.

As penalizações são aplicadas de acordo com os parâmetros a seguir:

- Diques que não permitem que o vazamento se espalhe por áreas adjacentes, porém que exponham todos equipamentos dentro dos seus limites recebem penalização de 0,5
- Se a bacia de contenção expõe linhas de utilidades ou não apresenta distância segura em relação as mesmas deve-se aplicar penalidade de 0,5

Não há penalização caso os itens abaixo sejam observados:

- Os diques circundam três lados de uma área e os vazamentos são captados diretamente para uma bacia de captação por meio de uma vala de drenagem não exposta ao meio ambiente.
- O lado mais próximo do dique ou da bacia deve ter no mínimo 15 metros de distância do equipamento.
- A bacia de contenção deve ter uma capacidade mínima igual ao volume total da água de combate a incêndio.

#### **4.3.2 Fator de Perigo Específico do Processo (F<sub>3</sub>)**

Os Fatores de Perigo Específico do Processo (F<sub>3</sub>) desempenha um papel importante no aumento da probabilidade de um potencial incidente e compreendem condições de processo específicas que, historicamente, contribuem como principais causadores de incêndio e explosões. Existem 12 itens listados como fatores de perigo específicos do processo. Os mesmos serão descritos a seguir:

##### **(i) Materiais tóxicos**

Os materiais tóxicos causam dificuldades e limitam a atuação dos componentes das brigadas de incêndio. Esta penalização depende do fator de saúde (Health Factor –NH) do material. Para misturas deve ser utilizado o maior valor de NH. A penalização é dada pela equação 4.3 (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994).

$$Penalty = 0,20 \times N_H \quad (4.3)$$

O NH é definido na NFPA 704 ou NFPA 325M. Na Tabela 4.5 é mostrado um resumo do NH de acordo com sua descrição qualitativa (Suardin, 2005).

Tabela 4.5 – Descrição qualitativa para determinação do fator de saúde  $N_H$  (Suardin, 2005 apud AIChE 1994)

$N_H=0$	Não oferece risco além do usual oferecido por materiais combustíveis, mesmo em exposições pequenas sob condições de incêndio
$N_H =1$	Causa irritação e dano leve, requer o uso de proteção respiratória (filtro) quando exposto ao material
$N_H =2$	Causa incapacitação temporária, possibilidade de dano residual, requer uso de proteção respiratória com ar mandado para pequenas e grandes exposições ao material
$N_H =3$	Requer proteção corporal completa, causa danos temporários graves mesmo em exposições pequenas ao material
$N_H =4$	Causa morte e danos permanentes mesmo em exposições pequenas ao material.

### (ii) Pressão inferior à atmosférica

Equipamentos que trabalham com pressão inferior à atmosférica em caso de “vazamento” ao invés de liberarem material para o meio externo, tem entrada de ar no seu interior, desta forma podendo dar origem a atmosfera explosiva ou inflamável. Esta penalização se aplica se a pressão absoluta do equipamento em questão for inferior a 500 mmHg e neste caso o valor da penalização será de 0,5.

Caso esta penalização seja aplicada, não se deve aplicar as penalizações dos itens (iii) e (v) a seguir.

### (iii) Operação dentro ou próximo aos limites de flamabilidade

A existência de ar dentro dos equipamentos possibilita a criação de atmosfera explosiva. Quanto maior for a faixa de flamabilidade do material, maior será a penalização aplicada. Porém, neste item não são abordados equipamentos com pressão inferior à atmosférica, já contemplados no item (ii) anterior. Nesta seção, são abordadas as seguintes condições:

- Tanques de armazenamento de produtos com  $N_F=3$  ou 4, sem teto flutuante e possibilidade de entrada de ar durante bobeiho ou um resfriamento súbito. Tanques com *vent* para atmosfera ou sem presença de atmosfera inerte operando a vácuo. Armazenamento de combustíveis a temperatura acima do seu ponto de fulgor sem atmosfera inerte. Em todos estes casos a penalização é de 0,5.
- Equipamentos de processo que operam próximo a faixa de flamabilidade em caso de falha de instrumentos. Processos que necessitem de purga de gás inerte para manter-se fora da faixa de flamabilidade e caminhões tanque recebem penalização de 0,3.
- Processos que normalmente operem próximo a faixa de flamabilidade recebem penalização de 0,8.



#### (iv) Explosão de poeiras

Esta penalidade se aplica a qualquer processo que envolva poeiras. Quanto menores forem as partículas, maior é o perigo de explosão que o material oferece. A penalização é baseada no tamanho das partículas que perfazem o range de 90% do maior tamanho em cada amostra, medidas por peneiras Tyler. Na Tabela 4.6 são apresentadas as penalizações de acordo o tamanho das partículas.

Tabela 4.6 – Penalização por presença de poeiras (Suardin, 2005 apud AIChE 1994)

Tamanho da Partícula (µm)	mesh Tyler	Penalização (reduzir em 50% em presença de gás inerte)
175+	60 – 80	0,25
150 – 175	80 – 100	0,50
100 – 150	10 – 150	0,75
75 – 100	150 – 200	1,25
<75	>200	2,00

#### (v) Pressão de Alívio

Equipamentos de processo que operam com pressão superior à atmosférica podem causar liberação de materiais inflamáveis. Quanto maior for a pressão, maior serão o alcance e a taxa de liberação. Esta penalização objetiva quantificar a falha dos componentes de alívio de pressão do processo. A penalização é determinada pelo seguinte procedimento:

- A penalização para equipamentos com pressão de operação no range de 0 a 1.000 psig é dada pela equação (4.4) (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994).

$$Penality = 0,16109 + \frac{1,61503 \cdot P}{1000} - 1,42879 \left(\frac{P}{1000}\right)^2 + 0,5172 \left(\frac{P}{1000}\right)^3 \quad (4.4)$$

Onde P é a pressão de operação em psig.

- A penalização para pressões de operação superiores a 1.000 é dada na Tabela 4.7 (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994).

Tabela 4.7 – Penalização para líquidos inflamáveis a armazenados/processados a alta pressão (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994)

Pressão (psig)	Pressão (kPa-g)	Penalização
1.000	6,895	0,86
1.500	10,343	0,92
2.000	13,790	0,96
2.500	17,328	0,98
3.000 -	20,685 - 69,950	1,00

10.000		
> 10.000	>69,850	1,50

**(vi) Temperatura baixa**

Esta seção contempla o fato de que o aço carbono, assim como outros metais podem apresentar comportamento frágil quando expostos a temperatura inferiores à suas temperaturas de transição dúctil/frágil. Não se aplica penalização caso o material seja uma liga metálica projetada para baixas temperaturas. Para aço carbono, a penalização é de 0,30. Outros materiais que possam operar abaixo de temperatura de transição, a penalização é de 0,20.

**(vii) Quantidade de material inflamável ou instável**

Esta seção aborda os efeitos da quantidade de material armazenado/processado. A mesma esta dividida em três subseções que são apresentadas a seguir:

- Líquidos ou gases em unidades de processo

Esta seção considera a quantidade de material que pode vaziar e originar incêndio, explosão ou reação química. A penalização é baseada em um vazamento por dez minutos em que o inventário considerado é o maior existente entre a unidade em questão e a unidade conectada à mesma. A penalização é dada pela equação 4.5 ou pela Figura 4.2.

$$\log (y) = 0,17179 + 0,42988(\log X) - 0,37244 (\log X)^2 + 0,17712 (\log X)^3 - 0,029984(\log X)^4$$

(4.5)

Onde, Y é a penalização e X é a Energia no processo (BTU x 109). Esta penalização se aplica aos seguintes materiais:

- Líquidos inflamáveis e combustíveis.
- Gases inflamáveis e gases inflamáveis liquefeitos.
- Produtos químicos instáveis.

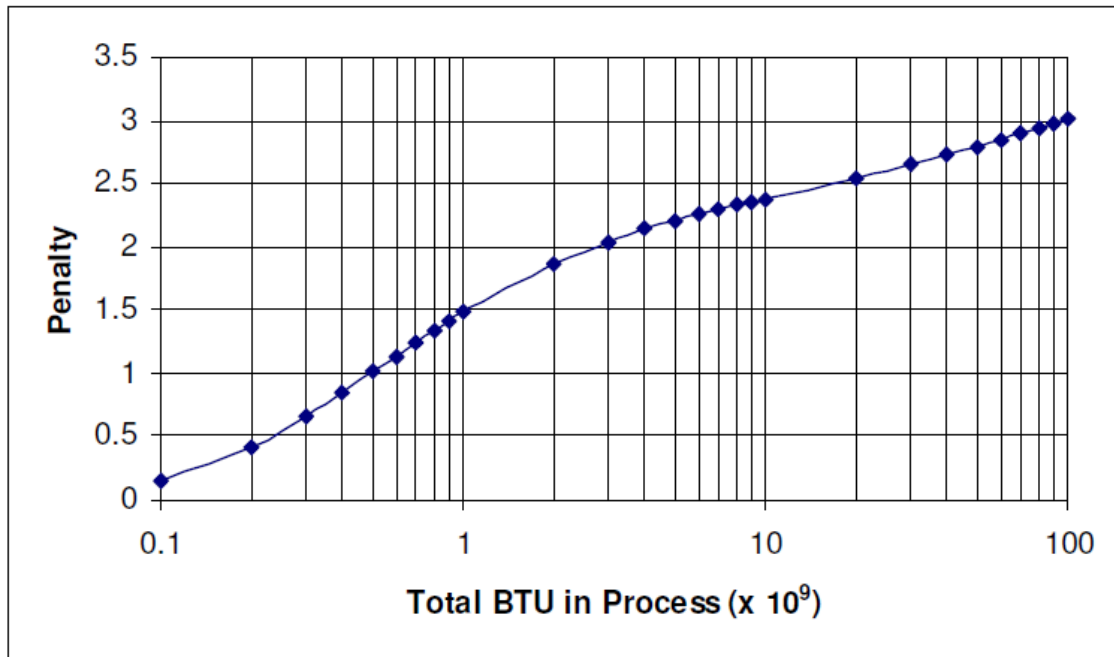


Figura 4.2 – Penalização para líquidos/gases inflamáveis em unidades de processo (Suardin, 2005)

- Líquidos ou gases em áreas de armazenamento

Esta penalização aborda fluidos inflamáveis em parques de armazenamento (vasos, esferas, tanques, containers etc.). A penalização está dividida em três categorias que dependem do inventário de material, o tipo de líquido/gás armazenado e do calor de combustão. A penalização é determinada usando a Figura 4.3 ou as equações (4.6), (4.7) e (4.8) (Suardin, 2005 – apud AIChE, 1994).

Curva A da Figura 4.3

$$\log(y) = -0,289069 + 0,47217(\log X) - 0,074585 (\log X)^2 + 0,018641 (\log X)^3 \quad (4.6)$$

Curva B da Figura 4.3

$$\log(y) = -0,403115 + 0,378703(\log X) - 0,046402 (\log X)^2 + 0,015379(\log X)^3 \quad (4.7)$$

Curva C da Figura 4.3

$$\log(y) = -0,558394 + 0,363321(\log X) - 0,057296 (\log X)^2 + 0,057296(\log X)^3 \quad (4.8)$$

Onde y é a penalização e x a energia total do processo (BTU x 109).

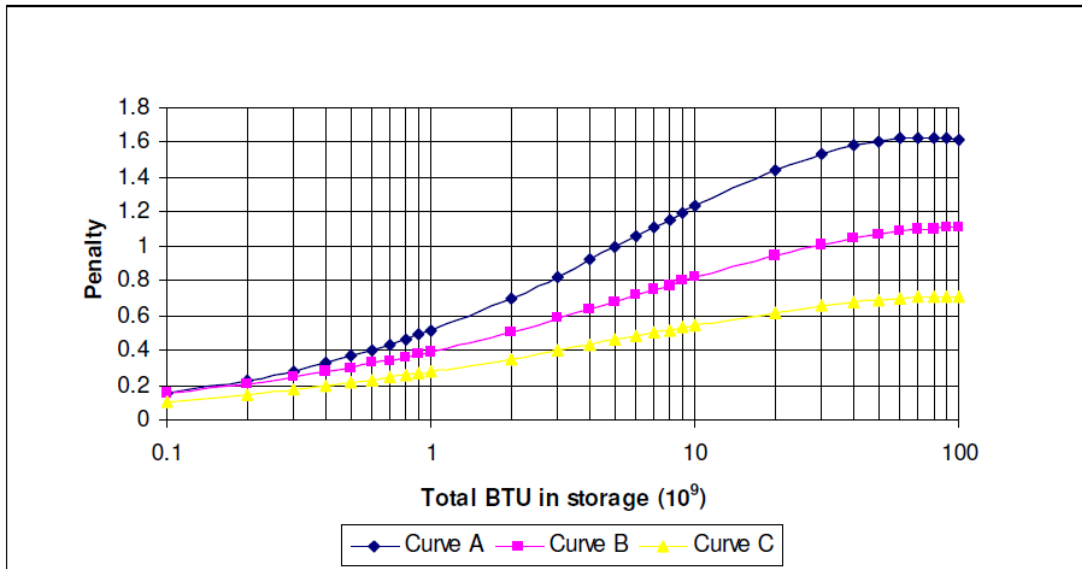


Figura 4.3 - Penalização para líquidos/gases inflamáveis em áreas de armazenamentos (Suardin, 2005)

- Combustíveis sólidos em poeira

Este subitem aborda a penalização para sólidos armazenados, quando estes fazem parte do cálculo do MF. A penalização é baseada na densidade do material, facilidade de ignição e capacidade de sustentar chama. Está determinada pelas Figuras 4.4 e equações (4.9) e (4.10) (Suardin, 2005 apud AIChE, 1994).

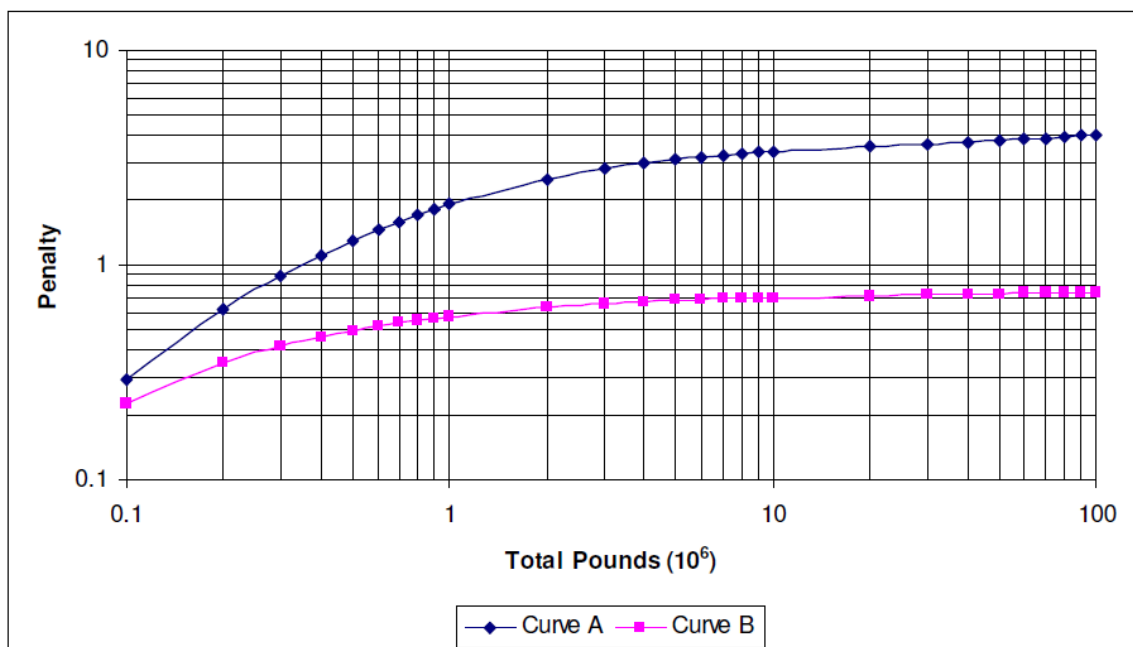


Figura 4.4 - Penalização para sólidos/poeiras inflamáveis (Suardin, 2005)

Curva A – Materiais com densidade inferior a 10 lb/ft<sup>3</sup>

$$\log(y) = -0,280423 + 0,464559(\log X) - 0,28291(\log X)^2 + 0,066218(\log X)^3 \quad (4.9)$$

Curva B – Materiais com densidade superior a 10 lb/ft<sup>3</sup>

$$\log (y) = -0,358311 + 0,459926(\log X) - 0,141022 (\log X)^2 + 0,02276(\log X)^3 \quad (4.10)$$

Onde y é a penalização e x é a energia total do processo (BTU x 106).

### (viii) Corrosão e erosão

A taxa de corrosão é dada pela soma das taxas de corrosão interna e externa. As seguintes penalizações são aplicadas:

- Para taxa de corrosão inferior a 0,005 polegadas/ano com risco de *pitting* (corrosão em pontos localizados com pouca ou sem perda de espessura e de difícil detecção, pode perfurar toda a peça) a penalização é de 0,10.
- Para taxa de corrosão entre 0,127 e 0,245 mm/ano a penalização é de 0,20
- Para taxa de corrosão superior a 0,245 mm/ano a penalização é de 0,50
- Se há risco de corrosão sob tensão a penalização aplicada é de 0,75. Isto ocorre, por exemplo, em áreas de processo com presença prolongada de cloro.
- Se de utilização de revestimento para evitar a corrosão, a penalização é de 0,20. Não é o caso se o revestimento for utilizado para evitar que o produto desenvolva coloração.

### (ix) Juntas

O vazamento de fluidos inflamáveis ou combustíveis tem uma maior probabilidade de acontecer em flanges, juntas de expansão, gaxetas, selos, especialmente onde a temperatura ou pressão possua variações cíclicas. A penalização é dada de acordo com os critérios a seguir:

- Para fugas pequenas junto a bombas, válvulas ou flanges, por exemplo, a penalização é de 0,10;
- Se o vazamento ocorre com maior frequência junto a bombas, compressores, juntas de expansão a penalização é de 0,30;
- Para processos que ocorrem em ciclos térmicos e de pressão a penalização é de 0,30;
- Se o material processado é erosivo ou abrasivo que cause problemas nos sistemas de selagem a penalização é de 0,40;
- Uma unidade de processo com visores, juntas de dilatação, mangotes deve receber uma penalização de 1,50.

### (x) Uso de equipamentos de combate a incêndio

Esta penalização considera a distância que os equipamentos de incêndio se encontram dos possíveis pontos de vazamento. A mesma é determinada utilizando-se a Figura 4.5 ou as equações 4.11 e 4.12 (Suardin, 2005 apud AIChE 1994).

A curva A-1 aplica-se a vazamento de materiais que estejam acima do ponto de fulgor e para poeiras combustíveis

$$\log (y) = -3,3243 \left(\frac{x}{210}\right) + 3,75127 \left(\frac{x}{210}\right)^2 - 1,42523 \left(\frac{x}{210}\right)^3 \quad (4.11)$$

A curva A-2 aplica-se a vazamento de materiais que estejam acima do seu ponto de bolha

$$\log (y) = -0,3745 \left(\frac{x}{210}\right) - 2,70212 \left(\frac{x}{210}\right)^2 + 2,09171 \left(\frac{x}{210}\right)^3 \quad (4.12)$$

Onde y é a penalização e x a distância em pés.

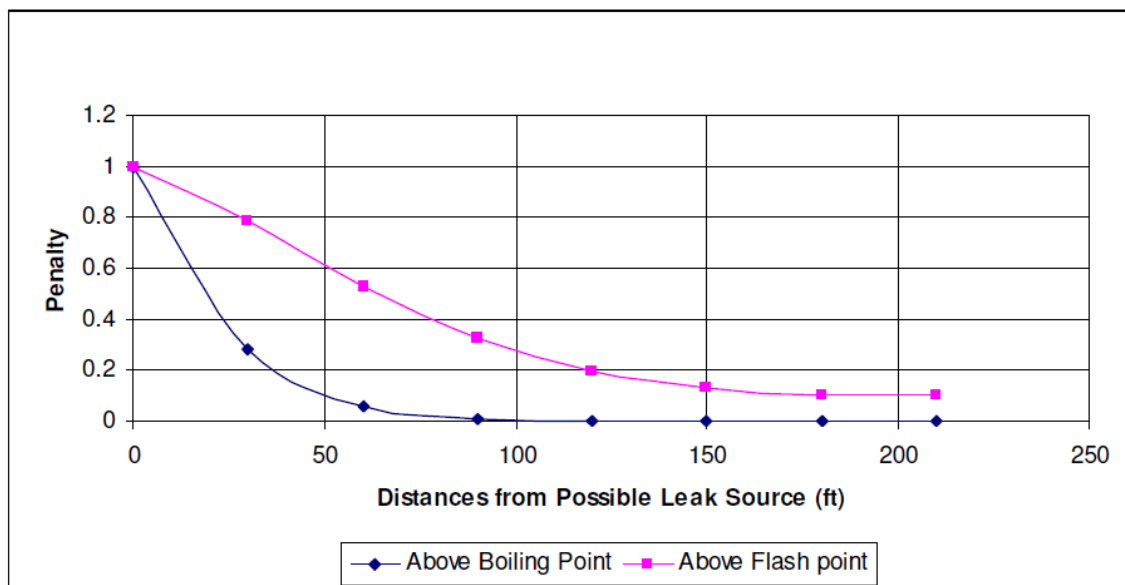


Figura 4.5 – Penalização segundo a distância entre o inventário inflamável e o sistema de combate a incêndio.

### (xi) Sistema de óleo quente

Esta penalização se aplica especificamente a sistemas de óleo quente e tem por base a quantidade e a temperatura do óleo. A penalização não se aplica a óleos não combustíveis ou a fluidos combustíveis abaixo do seu ponto de fulgor. O inventário a ser avaliado é o menor entre o inventário de óleo circulante nos trocadores e o equivalente a um vazamento de 15

minutos do óleo. A tabela 4.8 resume a penalização para diferentes inventários de óleo quente em sistemas de troca térmica.

Tabela 4.8 – Penalização para sistemas de trocadores de óleo quente (Suardin, 1994 apud AIChE, 2005)

inventário (kg)	Penalização acima do ponto de fulgor	Penalização acima do ponto de bolha
<19.000	0,15	0,25
19.000 – 38.000	0,3	0,45
38.000 – 95.000	0,5	0,75
> 95000	0,75	1,15

#### (xii) Equipamentos rotativos

Esta penalização se aplica a equipamentos rotativos, tais como bombas, compressores, agitadores. A penalização é baseada em dados estatísticos existentes sobre equipamentos rotativos como prováveis contribuintes para acidentes.

Unidades de processo com compressores cuja potência é superior a 600 HP e bombas com potência superior a 75 HP são penalizadas em 0,5. A mesma penalização é dada a agitadores e bombas de circulação, cuja falha desencadeie reações exotérmicas pela falta de refrigeração.

#### 4.4 Determinação do Índice

O índice Dow é dado pelo produto do Fator de Perigo de Processo da Unidade (F3) pelo Fator Material (MF), conforme já apresentado na equação 4.2. Com base no valor do índice são atribuídos cinco graus de severidade, mostrados na Tabela 4.9

Tabela 4.9 – graus de severidade do Índice Dow

Range do Índice Dow	Severidade
1 – 60	Leve
61 – 96	Moderada
97 – 127	Intermediaria
128 – 158	Pesada
>158	Severa

Com base nos valores do índice provenientes da Tabela 4.9 se propõem que seja feito cálculo da vazão necessária de água de combate a incêndio.

Assim, utilizando como base os sistemas de cálculo de vazão de água propostos atualmente, representados na Figura 3.1, propõem-se uma nova curva para o cálculo da vazão de água, apresentada na Figura 4.6. A mesma tem como base as cinco faixas do Índice Dow mostradas na Tabela 4.9.

Como vantagem o método proposto pode considerar o inventário de cada equipamento ou sistema em separado.

O método de cálculo da vazão da água de incêndio proposto necessita de confirmação ou comparação com projetos existentes, visto que se baseia em um método existente (Figura 3.1).

Como sugestão de trabalhos futuros fica o dimensionamento de um sistema de incêndio com base no cálculo do Índice Dow conforme o apresentado neste trabalho.

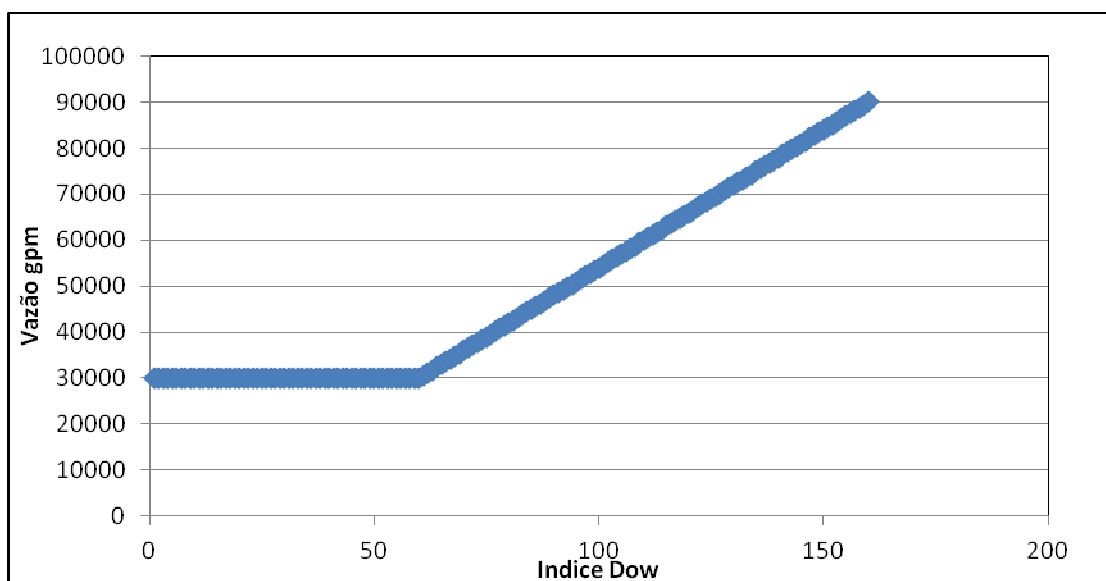


Figura 4.6 - Cálculo da vazão de água pelo Índice Dow

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma nova alternativa como base de cálculo para sistemas de combate a incêndio em unidades petroquímicas. Foram apresentadas os atuais meios de cálculos utilizados e uma nova proposta, com base no Índice Dow, criado em 1967, descrito pela AIChE como um índice quantitativo baseado em dados históricos, no potencial energético dos materiais em avaliação, servindo como instrumento na prevenção de perdas e gerenciamento de riscos.

A utilização do índice Dow no cálculo de sistemas de combate a incêndios possibilita a análise dos inventários de cada equipamento de uma unidade de processamento, assim analisando as perdas de maneira específica e localizada, tornando-se uma importante ferramenta de gerenciamentos de riscos.



A abordagem proposta neste trabalho carece de uma utilização em uma planta existente, possibilitado uma comparação com sistemas existentes de combate a incêndio, fazendo assim um ajuste fino no método proposto.

Portanto como sugestão para sequência deste trabalho propõem-se a aplicação do método em sistemas existentes.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2003. "Guidelines for fire protection in Chemical, Petrochemical and Hydrocarbon Processing Facilities", Library of Congress Cataloging- in Publication Data, New York.
- Suardin, Jaffee (2005) "THE INTEGRATION OF DOW'S FIRE AND EXPLOSION INDEX INTO PROCESS DESIGN AND OPTIMIZATION TO ACHIEVE AN INHERENTLY SAFER DESIGN", Texas University.
- Sinnott, R. K., Couslon, J. M., Richardson, J. F. (2005) "Chemical Engineering Design", ELSEVIER Butterworth-Heinneman - COULSON & RICHARDSON'S CHEMICAL ENGINEERIGN SERIES - Fourth Edition.
- NFPA 30, 2008 "Flammable and Combustible Liquids Code", Massachusetts.
- ABNT 17505, 2006 "Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis", Brasil.