

Aplicação da técnica de contenção da pressão de deflagração em Vaso de Pressão

1. Objetivos

A técnica de contenção da pressão de deflagração é aplicada para determinar e especificar a pressão de projeto de vaso de pressão e de seus acessórios, de forma que sejam capazes de suportar as pressões máximas resultantes de uma deflagração interna.

Nota:

Neste trabalho são fornecidas as bases para calcular a pressão de projeto, de um vaso de pressão, necessária para suportar as pressões resultantes de uma deflagração interna, como definidas na Norma NFPA 69 *Standard Explosion Prevention Systems – Deflagration Control by Pressure Containment*.

Quando o vaso de pressão e seus acessórios estão sujeitos à deflagração interna, ou seja, deflagração confinada, a técnica de contenção da pressão gerada na deflagração é aplicada, mesmo quando há instalada válvula de alívio de pressão, de proteção contra as ocorrências operacionais de sobrepressão do sistema em que o vaso está interligado.

A pressão a ser especificada deve ser baseada no conjunto mais severo de condições de operação do sistema, que podem ocorrer durante a deflagração: pressão e temperatura máximas de operação.

A Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA ou *MAWP-Maximum Allowable Working Pressure* do vaso de pressão, acessórios e tubulações interligadas, deve ser maior ou igual à pressão gerada na deflagração.

Este trabalho somente se aplica aos sistemas sujeitos à explosão por deflagração, em que o oxidante é o ar, e esta técnica, de contenção de pressão, não deve ser aplicada a sistemas com o propósito de conter uma detonação.

Nota:

A deflagração e a detonação são duas formas pelas quais a energia de uma combustão pode ser liberada.

Se o processo de combustão se propaga em velocidades subsônicas (mais lenta que a velocidade do som no meio em combustão) é uma deflagração.

Se o processo de combustão se desloca em velocidades supersônicas (mais rápido do que a velocidade do som no meio em combustão) é uma detonação.

A detonação libera muita energia em um intervalo de tempo muito curto, sendo uma forma dramática e destrutiva de explosão, como ocorre com os explosivos.

A ocorrência de uma detonação não é provável em vasos de pressão, a não ser em situações especiais como empilhamento de pressão em vasos interligados ou vasos com vários compartimentos internos.

As detonações, geralmente, ocorrem em tubulações e dutos, mas são pouco comuns em vasos de pressão.

Os sistemas de proteção contra deflagrações como painel de alívio de explosão, isolamento da explosão, supressão de explosão e contenção de explosão não devem ser usados nos casos em que a detonação é considerada um risco confiável. Nesses casos, o risco de explosão deve ser mitigado, evitando a formação de misturas que podem detonar, como as técnicas ou métodos de redução da concentração do combustível ou do oxidante.

A técnica de contenção da pressão de deflagração não é adequada para sistemas com risco de detonação, porque a elevação máxima de pressão na detonação é muito maior e mais rápida do que a que acontece na deflagração.

Em casos extremos, fatores como pressão operacional elevada, temperatura elevada, o efeito acelerador da combustão turbulenta através de tubos ou dutos, acrescido de aumento dos efeitos do empilhamento de pressão, podem resultar em detonações.

Alguns sistemas que podem ser capazes de detonar são, por exemplo, os sistemas contendo Hidrogênio que são propensos à detonação, assim como os sistemas contendo acetileno ou compostos acetilênicos.

Compostos orgânicos saturados como propano, etano e álcoois geralmente não detonam em vasos, mas podem fazê-lo em tubulações ou dutos.

Acessórios como compartimentos internos em equipamentos também podem promover a transição de deflagração para detonação.

2. Referências

Códigos e Normas

- ASME BPVC-VIII-1 Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1 - Appendix H Guidance to accommodate loadings produced by deflagration.

Quando uma deflagração interna, em um vaso de pressão, de misturas vapor-ar ou poeira-ar, é definida pelo usuário como uma condição de carga de pressão a ser considerada no projeto, este Apêndice fornece orientação para o projetista aumentar a capacidade do vaso de pressão, para suportar as forças produzidas nessa condição.

- NFPA 69 Standard on Explosion Prevention Systems

Esta norma abrange os requisitos mínimos para projeto, localização, instalação de sistemas de prevenção e contenção de explosão interna por deflagração, em reservatórios que contenham concentrações inflamáveis de gases, vapores, névoas, pós, poeiras ou misturas híbridas.

Esta norma não se aplica a dispositivos ou sistemas projetados para proteger contra explosões por detonação.

- ABNT NBR 16978-2 - Sistemas de prevenção de deflagração – Parte 2: Resistência mecânica – Requisitos

Esta Norma especifica os requisitos para o projeto, a instalação, a inspeção e a manutenção de dispositivos e dos sistemas de prevenção pela técnica de resistência mecânica à pressão de deflagração de gases, vapores e/ou névoas inflamáveis, de pós combustíveis, de misturas híbridas e de seus componentes.

3. Aplicação da técnica de contenção da pressão gerada na deflagração em vasos de pressão interligados

A contenção de pressão de deflagração confinada é a técnica de especificar a pressão de projeto de um vaso de pressão, seus acessórios e interligações, de modo que sejam capazes de suportar a pressão máxima P_{max} resultante de uma deflagração interna

Na deflagração confinada, o valor da pressão máxima P_{max} alcançada para a maioria das substâncias combustíveis, em relação à pressão absoluta interna no momento da ocorrência da ignição, pode ser calculada conforme os critérios da Norma NFPA 69.

A razão de pressão de deflagração máxima "R" é a relação adimensional entre a pressão máxima resultante de deflagração e a pressão interna ou inicial absoluta máxima.

A Norma NFPA 69 recomenda os valores de "R" para misturas inflamáveis de gás-ar, vapor-ar e pó-ar.

(1) Para a maioria das misturas gás / ar, o valor de R deve ser 9.

(2) Para misturas de pó / ar, o valor de R deve ser 13.

Um valor para R diferente dos valores especificados é permitido ser usado, se tal valor for comprovado por dados de teste ou cálculos.

A aplicação desta técnica de contenção da pressão de deflagração confinada é permitida para pressão interna no equipamento até, inclusive, 2 barg (30 psig), utilizando os critérios e os valores para "R", definidos na Norma NFPA 69.

Para pressões internas superiores a 2 barg (30 psig), somente quando a taxa máxima de pressão de deflagração (R) é determinada por teste ou cálculos, é possível a aplicação dos critérios da Norma NFPA 69.

Devido ao vácuo, que pode seguir uma deflagração, todos os vasos de pressão em que o projeto é baseado na contenção de pressão de deflagração confinada, também devem ser projetados para suportar uma pressão interna absoluta menor ou igual 68,95 kPa (10 psi) ou devem ser fornecidos com dispositivo ou válvula de alívio de vácuo.

3.1. Empilhamento de pressão

Em uma instalação industrial, como refinarias de petróleo, petroquímicas e fábricas de produtos químicos, é impossível projetar e operar equipamentos sem interligações de tubos ou dutos, para transporte, transferência e ventilação.

Assim, através de tubos e dutos conectados a equipamentos, que contêm materiais inflamáveis ou combustíveis com a presença de um oxidante, a ignição pode resultar na propagação da chama e de aumento da pressão em outro(s) equipamento(s) interconectado(s).

Essa propagação da chama pode aumentar a violência da deflagração, resultando em taxas aceleradas de aumento de pressão no(s) equipamento(s) interconectado(s), que é o fenômeno

de pré-pressurização ou empilhamento de pressão, devido à ignição por jato da frente de chama dos gases acumulados e pré-comprimidos nesses equipamentos.

O empilhamento de pressão aumenta a pressão máxima resultante da deflagração, P_{max} , em vasos de pressão, tubulações e dutos interligados, e as demandas de contenção da pressão são maiores.

Portanto, em dois ou mais vasos de pressão conectados por tubulações, todos contendo uma mistura combustível-ar inflamável, uma deflagração em um dos vasos pode pré-comprimir a mistura não queimada em outro(s) vaso(s).

A frente de chama ou jato de chama *jet flame* ao chegar neste(s) vaso(s) pré-comprimido(s) provoca uma deflagração, em que a pressão máxima de deflagração pode ser substancialmente maior do que normalmente aconteceria.

Ou seja, o pico de pressão, ao ocorrer o empilhamento durante a explosão, é mais elevado, muitas vezes maior, do que a pressão atingida no vaso que iniciou a deflagração.

Conforme a Norma NFPA 69, a técnica de contenção da pressão de deflagração pode ser aplicada a sistemas onde dois ou mais vasos estão conectados por tubos ou dutos, se ao menos uma das seguintes condições seja atendida:

- (1) Se as tubulações ou dutos interconectados são fornecidos com Válvulas de Isolamento de Explosão *Explosion Isolation Valves*.
- (2) Se houver painel de ventilação para as tubulações interconectadas.
- (3) Se o isolamento de deflagração ou a ventilação do vaso é possível ser usado.
- (4) Se os vasos interconectados e as tubulações ou dutos são projetados para conter as pressões aumentadas devido aos efeitos da pré-pressurização ou empilhamento.
- (5) Se os vasos interconectados, suas tubulações e acessórios são protegidos contra o efeito do empilhamento de pressão.

A técnica de contenção da pressão gerada na deflagração confinada, em vasos de pressão interligados, normalmente, é complementada com as seguintes providências.

- a. Instalação de Válvula de Isolamento da Explosão *Explosion Isolation Valve*, nas tubulações e dutos que interligam o vaso de pressão com os outros equipamentos de processo. O objetivo do isolamento de explosão é evitar a propagação de uma explosão criada em um vaso de pressão, interrompendo a chama e a onda de pressão simultaneamente.

Nota:

Os dispositivos de isolamento de deflagração são as Válvulas de Isolamento Automáticas de ação rápida *Automatic Fast-acting Valves* ou Válvulas de Isolamento de Explosão *Explosion Isolation Valves*, que estabelecem uma barreira física resistente, impedindo a propagação da explosão para outras áreas da planta de processo, evitando que explosão atinja outros equipamentos da produção. A válvula de ação rápida para o isolamento é uma válvula mecânica de alta velocidade, operada com atuadores em milissegundos, que fecha a passagem e a propagação da chama e da pressão geradas de uma deflagração, em ambos os sentidos de tubulação ou duto, em resposta à detecção da deflagração. Ela assegura um selo mecânico positivo e evitando os riscos de propagação de explosão entre outros equipamentos interligados ou transmissão de chama e pressão para o ambiente.

O sistema de detecção da deflagração é por detectores de pressão e/ou de energia radiante, monitorados por uma unidade ou painel de controle, que fornece supervisão, alarme, sinal de inicialização ao conjunto de válvulas e ação de desligamento da planta de processo.

A válvula deve ser capaz de suportar as pressões, esperadas durante um evento de deflagração, sem deformação do obturador, tipo comporta ou gaveta, para assegurar o rápido isolamento físico dos equipamentos pressurizados interligados.

A válvula de isolamento mecânico deve ser projetada para suportar a pressão máxima de explosão, P_{max} , correspondente ao material do processo.

Além disso, toda tubulação, duto e equipamentos, à montante da válvula de isolamento, também devem ser projetados para resistir à pressão de explosão P_{max} da deflagração.

No mercado de fabricantes fornecedores são encontradas Válvulas de Isolamento de Explosão, com pressão de projeto que pode variar de 50 barg, nas versões de pequeno diâmetro, até 30 bar nas versões maiores, durante as ocorrências de explosão de misturas combustíveis-ar de gás e poeira. A pressão máxima de uma deflagração confinada, em vasos de pressão, depende da pressão inicial existente no equipamento.

A tabela a seguir visa ilustrar a pressão gerada na explosão por deflagração de uma mistura gás-ar, em função da pressão inicial no vaso de pressão, calculada como o critério da Norma NFPA 69.

Como é para exemplificar o efeito da pressão inicial no vaso, foi estendido o valor de R, igual a 9, além da pressão de 2 barg.

pressão inicial	pressão inicial	pressão inicial	pressão explosão	pressão explosão	pressão explosão
barg	psig	psia	psia expl	psig expl	barg expl
0	0	14,7	132,3	117,6	8,10822
1	14,5938	29,2938	263,6442	248,944	17,1641
2	29,1876	43,8876	394,9884	380,288	26,2199
3	43,7814	58,4814	526,3326	511,633	35,2758
4	58,3752	73,0752	657,6768	642,977	44,3316
5	72,969	87,669	789,021	774,321	53,3875

Em pressão inicial acima de 3 barg, a pressão de explosão por deflagração já é elevada, acima de 35 barg, e próxima ao limite da fabricação das Válvulas de Isolamento de Explosão, portanto se deve impedir, de todas as formas, misturas inflamáveis, em vasos com pressão inicial acima de 3 barg, pois, a pressão da explosão é muito forte e o vaso de pressão e a própria válvula de isolamento podem romper e causar uma catástrofe.



Válvula de Isolamento de Explosão *Isolation Explosion Valve* com atuador pneumático

Referências:

Fike Explosion Isolation Valve

<https://www.digisensor.com.br/wp-content/uploads/2020/12/Explosion-Isolation-Valve.pdf>

Wolff Speed WEY HSI explosion isolation gate valves

<https://www.grupa-wolff.com/explosion-protection/explosion-decoupling-isolation/speed-wey-hsi-explosion-isolation-gate-valves/>

b. Instalação de dispositivo de proteção contra o excesso de pressão, como os discos de ruptura, em cada um dos vasos interligados, ajustados para romper na pressão de deflagração correspondente.

Os discos de ruptura são dispositivos que respondem em milissegundo, em contraste com as válvulas de alívio que reagem muito lentamente, para proteger o vaso contra o acúmulo de pressão extremamente rápido, causado pela propagação de chama interna.

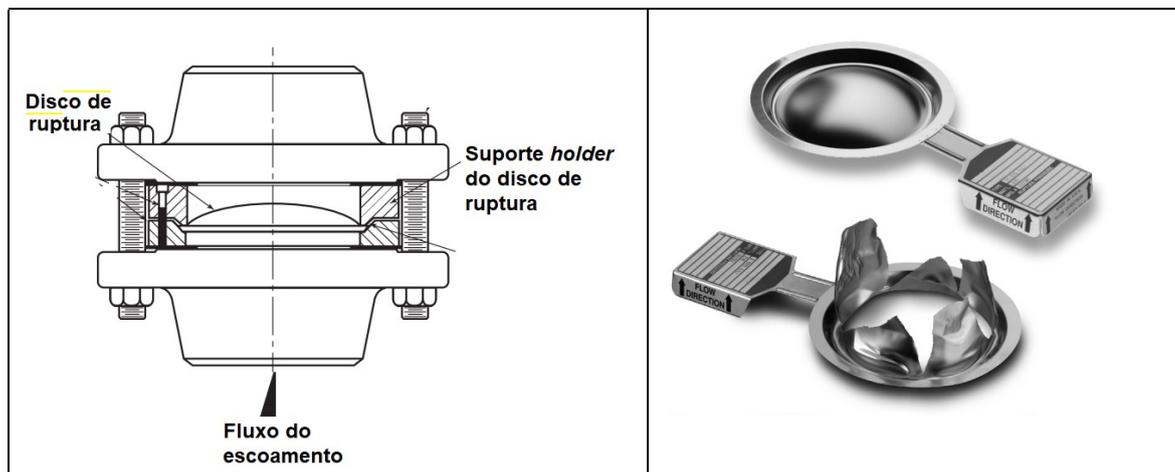
Nota:

Discos de ruptura *rupture discs* são dispositivos de alívio de pressão sem fechamento após a abertura *non-reclosing*, não fragmentáveis, usados para proteger vasos, tubulações e outros componentes pressurizados contra pressão e/ou vácuo excessivos.

Sem partes móveis, os discos de ruptura são simples, confiáveis e de ação mais rápida do que outros dispositivos de alívio de pressão, reagindo com rapidez para aliviar picos de pressão.

As pressões de ruptura podem variar significativamente com a temperatura do dispositivo de disco de ruptura. À medida que a temperatura no disco aumenta, a pressão de ruptura geralmente diminui.

Por estas razões, o disco de ruptura deve ser especificado na pressão e temperatura que se espera que o disco rompa.



Disco de ruptura instalado e disco de ruptura rompido

3.2. Proteção do vasos de pressão com disco de ruptura

Conforme a Norma API Std 521 Pressure-relieving and Depressuring Systems, se deve instalar discos de ruptura *rupture discs* em vasos de pressão, para proteção contra sobrepressão por explosões internas, causadas pela ignição de misturas de vapor-ar ou gás-ar, onde a velocidade da chama é subsônica (ou seja, deflagração, mas não detonação).

As válvulas de segurança ou PSVs-*Pressure Safety Valves* não são aceitáveis para lidar com o alívio de deflagração, por não abrirem suficientemente rápido.

Portanto, se deve proteger os vasos de pressão de um sistema de processo, em que existe a possibilidade de explosão por deflagração, contra o aumento excessivo da pressão interna, com dispositivo de alívio de pressão do tipo discos de ruptura.

Como não se sabe, a priori, qual dos vasos do sistema vai apresentar a deflagração, cada vaso deve ser protegido com um disco de ruptura.

Para cada vaso se deve calcular a pressão máxima atingida no caso de deflagração, conforme critério da Norma NFPA 69.

Ajustar o disco de ruptura de cada vaso para abrir na pressão máxima de deflagração correspondente;

Todos os vasos de pressão desse sistema, seus acessórios e tubulações que os interligam, devem ser projetados para resistirem à pressão de deflagração calculada.

O disco de ruptura é um dispositivo de segurança de alívio de pressão, porém traz o inconveniente de não tornar a fechar, após a abertura (*non-reclosing device*).

Já válvula de alívio de pressão, após abrir para aliviar o excesso de pressão, torna a fechar (*closing device*) e impedir o fluxo adicional de fluido, depois que as condições normais são restabelecidas.

Por isso, nos vasos de pressão sujeitos às explosões, também deve ser instalado a válvula de alívio de pressão *pressure relieving valve*, para a proteção contra as sobrepressões operacionais, com ajuste *set pressure* para abertura em pressão inferior à da deflagração.

4. Bases de cálculo da pressão máxima de deflagração

Os vasos de pressão protegidos por projeto para conter a pressão de deflagração devem ser dimensionados e construídos de acordo com o Código ASME Sec VIII Div 1, ou códigos similares.

Para vaso de pressão novo, a pressão de projeto, designada na Norma NFPA 69 como *Pmawp-maximum allowable working pressure*, deve ser maior ou igual à pressão máxima gerada na deflagração, que é determinada por cálculo, conforme requisito da Norma NFPA 69. Em caso de vaso de pressão existente, a pressão máxima admissível *Pmawp* do vaso deve ser calculada com base na menor espessura medida da parede do vaso, subtraindo-se qualquer sobresspessura para corrosão e/ou erosão. Para o reaproveitamento do vaso, essa pressão deve ser maior que a gerada na deflagração.

A pressão de projeto do vaso deve ser baseada na prevenção da ruptura do vaso, mas permitindo a deformação permanente, como resultado de uma potencial deflagração, se o usuário autorizar.

Outro procedimento é estabelecer a pressão de projeto do vaso de modo a impedir a deformação permanente.

Se o equipamento deve ser reutilizado após um evento de deflagração, o vaso de pressão e seus acessórios devem ser projetados para evitar deformação permanente do equipamento. O proprietário/usuário deve informar se a deformação permanente do vaso é ou não aceitável.

O projeto do vaso deve levar em consideração a menor temperatura de operação na qual uma deflagração pode ocorrer, que deve ser comparada com a temperatura mínima de metal permitida para o material de construção do vaso, para garantir que uma fratura frágil não resulte de uma deflagração.

Devido ao vácuo que pode resultar de uma deflagração, todos os vasos cujo projeto de contenção de pressão de deflagração é baseado na prevenção de deformação permanente, também devem ser projetados para suportar uma pressão interna absoluta de 68,95 kPa (10 psig), ou devem ser fornecidos com alívio de vácuo.

Equipamentos auxiliares, como dispositivos de alívio, sistemas de ventilação, bocas de visita e de inspeção, acessórios, bocais de tubulações, que também estão sujeitas às pressões de deflagração, devem ser projetados para garantir a integridade do sistema total e devem ser inspecionados periodicamente.

Para a contenção da explosão em um único vaso, considerando-se uma pressão inicial e uma razão de pressão adimensional (R) para a deflagração potencial, a pressão máxima para projeto ou verificação (se existente) do vaso de pressão, P_{mawp}, deve ser calculada com base nas seguintes condições:

- a. Admitindo-se a deformação permanente do vaso, após se submetido à pressão da deflagração;
- b. Não sendo admitida qualquer deformação do vaso, após o evento da explosão por deflagração.

Nota:

No caso de não se admitir deformação, o valor da pressão de projeto ou de verificação, P_{mawp}, é superior ao da condição de se permitir a deformação.

Cálculo da pressão de projeto do vaso de pressão, para cada condição:

(1) A deformação permanente do equipamento pode ser aceita, mas não sua ruptura.

$$P_{mawp} \geq \frac{[R(P_i + 14.7) - 14.7]}{\left[\left(\frac{2}{3}\right)F_u\right]}$$

(2) A deformação permanente do equipamento não pode ser aceita.

$$P_{mawp} \geq \frac{[R(P_i + 14.7) - 14.7]}{\left[\left(\frac{2}{3}\right)F_y\right]}$$

Onde:

P_{mawp} = MAWP-*Maximum Allowable Working Pressure* ou PMTA-Pressão Máxima de Trabalho Admissível do vaso de pressão (para verificação de vaso existente) ou pressão de projeto (para dimensionamento de vaso novo) (psig)

R = razão de pressão de deflagração máxima é relação adimensional entre a pressão máxima de deflagração e a pressão inicial máxima, em unidades de pressão absoluta consistentes

P_i = pressão interna inicial máxima em que existe atmosfera combustível (psig).

No caso de haver uma válvula de alívio de pressão no vaso, a pressão inicial máxima é determinada pela pressão de ajuste de abertura *set point* da válvula de alívio acrescida da acumulação permitida para o vaso de pressão ou da sobrepressão da válvula de alívio de pressão, o que for maior.

Notas:

- a. Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA (*Maximum Allowable Working Pressure - MAWP*) é a pressão interna máxima permitida para o vaso de pressão, na temperatura de projeto, com o vaso na condição de trabalho, isto é corroído e quente.
Ela é determinada a partir do código do projeto, da resistência mecânica dos materiais utilizados, das dimensões do equipamento e das características de corrosividade e erosão do fluido de processo.
A PMTA é a base para o ajuste da pressão das válvulas de alívio de pressão que protegem o vaso.
A PMTA deve ser maior ou igual à Pressão de Projeto.
- b. Acumulação (*accumulation*) é o aumento de pressão interna permitida pelo código de projeto ASME Sec VIII Div 1, acima da PMTA do vaso de pressão, e pode ser expressa em unidade de pressão ou como uma porcentagem da PMTA.
A acumulação em vasos de pressão permitida, de acordo com o código ASME Sec VIII Div 1 para gases, vapores e líquidos, é de 10%.
- c. Sobrepressão (*overpressure*) é o aumento da pressão, acima da pressão de ajuste da abertura da válvula de alívio de pressão, necessária para fazer com que a válvula alcance a abertura e a capacidade máximas durante a descarga, sendo uma característica de cada válvula e em geral corresponde a 10% da pressão de ajuste. Normalmente expressa em porcentagem da pressão de abertura.

F_u = razão entre a tensão de ruptura do material de construção do vaso e a tensão admissível do projeto do vaso, ambas na temperatura de projeto.

F_y = razão entre a tensão de escoamento do material de construção do vaso e a tensão admissível do projeto do vaso, ambas na temperatura de projeto.

Os valores básicos de tensões admissíveis para cálculo da P_{mawp} são aqueles listados no Código ASME Seção II Parte D, em função do material de construção e a temperatura de projeto..

Para uso como base prática de projeto, o valor de R - razão de pressão de deflagração máxima deve ser como a seguir:

- (1) Para a maioria das misturas de gás e ar, o valor de R deve ser 9.
- (2) Para as misturas poeira-ar St-1 e St-2, o valor de R deve ser 11.
- (3) Para misturas poeira-ar St-3, o valor de R deve ser 13.

Nota:

As propriedades, que quantificam a gravidade de uma explosão de pós/poeiras combustíveis, são Kst e Pmax.

Kst e Pmax são parâmetros que caracterizam a combustibilidade do material em pó/poeira.

Kst fornece informações sobre a taxa de aumento de pressão durante um evento de explosão de pó/poeira. Unidade [bar.m/s].

Pmax fornece informações sobre a pressão máxima alcançável gerada durante um evento de explosão de pó/poeira. Unidade [bar].

Com isso, pós/poeiras diferentes podem ser comparados uns com os outros, em relação à sua gravidade de explosão, e classificados em 4 grupos, chamados de classes St, da seguinte forma:

Classe de pó/poeira	Valor Kst [bar.m/s]	Comentário
St-0 Típico de pó de sílica, pó gerado por soldagem e pó gerado termicamente (de processos de corte, por exemplo).	0	Não explode
St-1 Típico de carvão, leite em pó, açúcar, enxofre, pó de madeira, zinco.	1 a 200	Explosão fraca
St-2 Típico de celulose, farinha de madeira, poli metil acrilato (PMA).	201 a 300	Forte explosão
St-3 Típico de pós metálicos como alumínio, magnésio e titânio	>300	Explosão muito forte

Fonte: Como saber se a poeira é combustível?

<https://www.nederman.com/pt-br/knowledge-center/how-do-i-know-if-my-dust-is-combustible>

Um valor para R diferente dos valores especificados pode ser permitido para ser usado, se tal valor puder ser comprovado por dados de teste ou cálculos.

Para vasos com pressão interna inicial superiores a 2 bar (30 psi), a razão de pressão de deflagração máxima deve ser determinada por teste ou cálculos

Para temperaturas operacionais abaixo de 25°C (77°F), o valor de R' deve ser calculado para uso nas equações anteriores, em lugar de R.

$$R' = R \left(\frac{298}{273 + T_i} \right)$$

Onde:

R' = razão de pressão de deflagração máxima ajustada para temperatura operacional

R = razão de pressão de deflagração máxima para a mistura medida a 25°C (77°F)

T_i = temperatura operacional (°C)

A presença de qualquer dispositivo de alívio de pressão no sistema não deve fazer com que a pressão de projeto P_{mawp} calculada seja reduzida.

Para sistemas operando em pressão positiva a pressão inicial máxima deve ser a seguinte:

(1) Para sistemas de pressão positiva que manipulam gases e líquidos, a pressão inicial máxima, P_i, deve ser a pressão máxima na qual uma atmosfera combustível é capaz de existir, mas não superior à pressão de ajuste de abertura *set point* do dispositivo de alívio de pressão (caso existente) mais a acumulação permitida para o vaso de pressão ou sobrepressão da válvula de alívio, o que for maior.

(2) Para sistemas de pressão positiva que lidam com pós, a pressão inicial máxima deve ser o maior dos dois seguintes valores de pressão:

(a) Pressão máxima de descarga possível do compressor ou soprador que está suspendendo ou transportando o material

(b) Pressão de ajuste de abertura *set point* do dispositivo de alívio de pressão no vaso que está sendo protegido mais a acumulação permitida para o vaso de pressão ou sobrepressão da válvula de alívio, o que for maior.

(3) Para descarga de poeiras por gravidade, a pressão inicial máxima deve ser a pressão manométrica atmosférica (0,0 bar ou 0,0 psig).

Para sistemas operando sob vácuo, a pressão máxima inicial não deve ser inferior à pressão manométrica atmosférica (0,0 barg ou 0,0 psig).

Equipamentos auxiliares, como válvulas de alívio de pressão, bocas de visita de acesso, bocais e outras aberturas no vaso, tubulações conectadas, acessórios, válvulas, flanges, que também podem ser submetidos à pressão gerada na deflagração, devem ser projetados ou verificados para garantir a integridade de todo o sistema e devem ser inspecionados periodicamente.

As conexões flangeadas, de solda de encaixe e rosqueadas devem ser verificadas para garantir que as classes de pressão do projeto atendem à pressão gerada na deflagração.

5.4. Manutenção

Qualquer vaso projetado de acordo com esta metodologia deve ser inspecionado e mantido, pelo menos a cada 3 anos, independentemente dos prazos definidos na Norma Regulamentadora NR-13 Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento.

A inspeção e a manutenção devem estar de acordo com as práticas aplicáveis da Norma API Std 510- Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration.

Em particular, os dispositivos de alívio devem ser inspecionados periodicamente, ao menos a cada ano, para assegurar que não estejam obstruídos, congelados ou corroídos.

Os reparos e modificações no vaso devem ser feitos consistentes com o código do projeto e construção original.

5.5. Inspeção após uma deflagração

Qualquer vaso projetado para conter uma deflagração, que seja submetido a uma deflagração, deve ser, imediatamente, inspecionado para verificar se o vaso e as interligações ainda são seguros para o uso pretendido.

Anexos

1. Extrato da Norma NFPA 69 Standard on Explosion Prevention Systems Chapter 13 Deflagration Control by Pressure Containment

13.1 Application.

13.1.1 The technique for deflagration pressure containment shall be permitted to be considered for specifying the design pressure of a vessel and its appurtenances so they are capable of withstanding the maximum pressures resulting from an internal deflagration.

13.1.2 This chapter shall provide the basis for determining the vessel design pressure required to withstand the pressures resulting from an internal deflagration.

13.1.3 This chapter shall be limited to systems in which the oxidant is air.

13.1.4 The design pressure specified by this chapter shall be based on the most severe set of system conditions that can occur.

13.1.5* Deflagration pressure containment shall be applied to a vessel with attached equipment to protect such equipment from imposed pressure loads that could equal or be greater than the pressure loads experienced by the protected vessel.

13.2 Design Limitations.

13.2.1 Deflagration pressure containment techniques shall not be applied to systems for the purpose of containing a detonation.

13.2.2 Deflagration pressure containment shall not be applied to systems where two or more vessels are connected by large-diameter pipes or ducts, unless one of the following conditions is met:

(1) Deflagration pressure containment shall be permitted to be used where interconnected piping is provided with deflagration isolation.

(2) Deflagration pressure containment shall be permitted to be used where venting is provided for interconnected piping.

(3) Deflagration pressure containment shall be permitted to be used where interconnected vessels are designed to contain the increased pressures due to the effects of prepressurization. (See Annex G.)

(4) Deflagration isolation or venting of one vessel shall be permitted to be used.

(5) Deflagration pressure containment shall be permitted to be used for initial gauge pressures exceeding 2 bar (30 psi) only when the maximum deflagration pressure ratio (R) is determined by test or calculations.

13.3 Design Bases.

13.3.1 Enclosures protected by design for deflagration pressure containment shall be designed and constructed according to the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, or similar codes, where the maximum allowable working pressure, herein designated as P_{mawp} , shall be determined by calculation.

13.3.1.1 Such determinations shall include an allowable stress for the enclosure material of construction, which is less than the measured yield stress and the measured ultimate stress for the material of construction.

13.3.1.2 The design pressure shall be based on the wall thickness of the enclosure, subtracting any allowance for corrosion or erosion. For existing enclosures, the design pressure shall be based on the actual measured minimum wall thickness, subtracting a corrosion allowance.

13.3.1.3 The enclosure design shall take into consideration the minimum operating temperature at which a deflagration could occur, which shall be compared with the temperature characteristics of the vessel's construction material to ensure that brittle fracture cannot result from a deflagration.

13.3.1.4 The user shall determine whether permanent deformation of the protected enclosure, as a result of a potential deflagration, can be accepted.

13.3.2 The design pressure of the enclosure, as calculated in 13.3.4, shall be based either on preventing rupture of the enclosure (the ultimate strength of the enclosure), but allowing permanent deformation (also called explosion-proof shock resistant), or on preventing permanent deformation (the yield strength of the enclosure, also called explosion-pressure shock-resistant) from internal positive overpressure.

13.3.3 Due to the vacuum that could follow a deflagration, all enclosures whose deflagration pressure containment design is based on preventing deformation shall also be designed to

withstand an absolute internal pressure of 68.95 kPa (10 psi) or they shall be provided with vacuum relief.

13.3.4 Given an initial pressure and dimensionless pressure ratio for the potential deflagration, P_{mawp} shall be selected based on the following conditions as defined by Equation 13.3.4a or Equation 13.3.4b: (1) Permanent deformation, but not rupture, of the enclosure can be accepted.

$$P_{mawp} \geq \frac{[R(P_i + 14.7) - 14.7]}{\left[\left(\frac{2}{3}\right)F_u\right]} \quad (13.3.4a)$$

(2) Permanent deformation of the enclosure cannot be accepted.

$$P_{mawp} \geq \frac{[R(P_i + 14.7) - 14.7]}{\left[\left(\frac{2}{3}\right)F_y\right]} \quad (13.3.4b)$$

where:

P_{mawp} = enclosure design pressure (psig) according to ASME Boiler and Pressure Vessel Code

R = dimensionless pressure ratio

P_i = maximum initial pressure at which combustible atmosphere exists (psig)

F_u = ratio of ultimate stress of the enclosure to the allowable stress of the enclosure according to ASME Boiler and Pressure Vessel Code

F_y = ratio of the yield stress of the enclosure to the allowable stress of the materials of construction of the enclosure according to ASME Boiler and Pressure Vessel Code

13.3.4.1 The dimensionless ratio, R, is the ratio of the maximum deflagration pressure, in absolute pressure units, to the maximum initial pressure, in consistent absolute pressure units.

13.3.4.2 For use as a practical design basis (since optimum conditions seldom exist in industrial equipment), the value of R shall be as follows:

- (1) For most gas and air mixtures, the value of R shall be 9.
- (2) For St-1 and St-2 dust-air mixtures, the value of R shall be 11.
- (3) For St-3 dust-air mixtures, the value of R shall be 13.

13.3.4.4 For operating temperatures below 25°C (77°F), the value of R shall be calculated for use in Equation 13.3.4a and Equation 13.3.4b:

$$\dot{R} = R \left(\frac{298}{273 + T_i} \right) \quad (13.3.4.4)$$

where:

\dot{R} = deflagration ratio adjusted for operating temperature

R = maximum deflagration ratio for the mixture measured at 25°C (77°F)

T_i = operating temperature (°C).

13.3.8 Auxiliary equipment such as vent systems, manways, fittings, and other openings into the enclosure, which could also experience deflagration pressures, shall be designed to ensure integrity of the total system and shall be inspected periodically

2. Extrato do Código ASME Sec VIII Div 1

NONMANDATORY APPENDIX H GUIDANCE TO ACCOMMODATE LOADINGS PRODUCED BY DEFLAGRATION

H-1 SCOPE

When an internal vapor-air or dust-air deflagration is defined by the user or his designated agent as a load condition to be considered in the design, this Appendix provides guidance for the designer to enhance the ability of a pressure vessel to withstand the forces produced by such conditions.

H-2 GENERAL

Deflagration is the propagation of a combustion zone at a velocity that is less than the speed of sound in the unreacted medium, whereas detonation is the propagation of a combustion zone at a velocity that is greater than the speed of sound in the unreacted medium. A detonation can produce significant dynamic effects in addition to pressure increases of great magnitude and very short duration, and is outside the scope of this Appendix.

This Appendix only addresses the lower and slower loadings produced by deflagrations that propagate in a gas-phase. The magnitude of the pressure rise produced inside the vessel by a deflagration is predictable with reasonable certainty. Unvented deflagration pressures can be predicted with more certainty than vented deflagration pressures. Methods are provided in the references listed in H-5 to bound this pressure rise. Other methods may also be used to determine pressure rise.

H-3 DESIGN LIMITATIONS

The limits of validity for deflagration pressure calculations are described in References (1) and (2).

H-4 DESIGN CRITERIA

H-4.1 Safety Margin

As described in NFPA-69 [see Reference (1)], a vessel may be designed to withstand the loads produced by a deflagration:

- (a) without significant permanent deformation; or
- (b) without rupture [see Reference (3)].

A decision between these two design criteria should be made by the user or his designated agent based upon the likelihood of the occurrence and the consequences of significant deformation. It is noted that either (a) or (b) above will result in stresses for a deflagration that are larger than the basic Code allowable stress listed in Section II, Part D. Because of this, appropriate design details and nondestructive examination requirements shall be agreed upon between the user and designer. These two criteria are very similar in principle to the Level C and Level D criteria, respectively, contained in Section III, Subsection NB for use with Class 1 vessels [see References (4) and (5)]. The limited guidance in NFPA 69 requires the application of technical judgments made by knowledgeable designers experienced in the selection and design of appropriate details. The Level C and Level D criteria in Section III provide detailed methodology for design and analysis. The successful use of either NFPA 69 or Section III criteria for deflagration events requires the selection of materials of construction that will not fail because of brittle fracture during the deflagration pressure excursions.

H-4.2 Likelihood of Occurrence

For vapor-air and dust-air combustion, various methods of reducing the likelihood of occurrence are described in Reference (2). It is good engineering practice to minimize the likelihood of occurrence of these events, regardless of the capability of the vessel to withstand them.

H-4.3 Consequences of Occurrence

In deciding between designing to prevent significant permanent deformation [see H-4.1(a)] or designing to prevent rupture [see H-4.1(b)], the consequences of significant distortion of the pressure boundary should be considered. Either the aforementioned NFPA or Section III design criteria may be used: Each has been used successfully

H-4.4

Strain Concentration

When developing a design to withstand either of the criteria cited above, the designer should avoid creating weak sections in the vessel at which strain can be concentrated. Examples of design details to avoid are partial penetration pressure boundary welds, cone to cylinder junctions without transition knuckles, large openings in heads or cylindrical shells which require special design consideration [see UG-36(b)(1)], etc.

H-5 REFERENCES

(1) National Fire Protection Association (NFPA) 69, Standard on Explosion Prevention Systems, Chapter 5, Deflagration Pressure Containment, issue effective with the applicable Addenda of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

- (2) National Fire Protection Association (NFPA) 68, Guide for Venting of Deflagrations, issue effective with the applicable Addenda of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.
- (3) B.F. Langer, PVRC Interpretive Report of Pressure Vessel Research, Section 1 — Design Considerations, 1.4 Bursting Strength, Welding Research Council Bulletin 95, April 1964.
- (4) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, NB-3224, Level C Service Limits.
- (5) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, NB-3225 and Appendix F, Level D Service Limits.

3. Extrato da Norma API Std 521 Pressure-relieving and Depressuring Systems

Deflagration Explosion in which the flame front is advancing at less than the speed of sound in the unburned combustible mixture.

Detonation Explosion in which the flame front is advancing at or above the speed of sound in the unburned combustible mixture.

Internal Explosion (Excluding Detonation)

If overpressure protection is to be provided against internal explosions caused by ignition of vapor-air mixtures where the flame speed is subsonic (i.e. deflagration but not detonation), rupture disks or explosion vent panels, not relief valves, should be used.

These devices respond in milliseconds. In contrast, relief valves react too slowly to protect the vessel against the extremely rapid pressure buildup caused by internal flame propagation.

The vent area required is a function of a number of factors including the following:

- a) initial conditions (pressure, temperature, composition),
- b) flame propagation properties of the specific vapors or gases,
- c) volume of the vessel,
- d) pressure at which the vent device activates,
- e) maximum pressure that can be tolerated during a vented explosion incident. It should also be noted that the peak pressure reached during a vented explosion is usually higher, sometimes much higher, than the pressure at which the vent device activates.

Design of explosion-relief systems should follow recognized guidelines such as those contained in NFPA 68.

Simplified rules-of-thumb should not be used as these can lead to inadequate designs.

If the operating conditions of the vessel to be protected are outside the range over which the design procedure applies, explosion vent designs should be based on specific test data, or an alternate means of explosion protection should be used.

Some alternate means of explosion protection are described in NFPA 69, including explosion containment, explosion suppression, oxidant-concentration reduction, and so forth.

Explosion-relief systems, explosion containment, and explosion suppression should not be used for cases where detonation is considered a credible risk.

In such cases, the explosion hazard should be mitigated by preventing the formation of mixtures that could detonate.

Explosion prevention measures, such as inert gas purging, in conjunction with suitable administrative controls can be considered in place of explosion-relief systems for equipment in which internal explosions are possible only as a result of air contamination during start-up or shutdown activities.

NFPA 69 Explosion Prevention Systems provides guidance on designing vessels for deflagration pressure containment and explosion prevention systems.