

Metodologia de avaliação de dispositivos e sistemas de alívio de pressão

Claudia Martins¹, Flavio Waltz¹, Rafael Bertges¹, Thiago Trotta¹

¹ CHEMTECH – Rua da Quitanda, 50, Centro, 20011-030, Rio de Janeiro, RJ, Brazil

A avaliação de sistemas de alívio de pressão tem se tornado cada vez mais importante em projetos de novas instalações industriais e melhorias de processos existentes. A exigência cada vez maior por operações seguras requer uma avaliação criteriosa destes sistemas, implicando em uma avaliação individual dos dispositivos de alívio a partir de uma visão global de avaliação de seus impactos na vazão total de alívio.

A abordagem tradicional de avaliação e projeto destes sistemas a partir de documentos emitidos individualmente para cada dispositivo de alívio não se encaixa nesta realidade. Em geral, as folhas de dados emitidas para cada dispositivo de alívio apresentam apenas o cenário responsável pelo dimensionamento. Isto pode provocar definições equivocadas quanto ao local de destino de alívio, gerando situações inseguras. Além disto, esta abordagem individualizada propicia a utilização de premissas conservativas que super-dimensionam instrumentos, visando garantir a segurança de um sistema individual, mas inflaciona ou mesmo inviabiliza o projeto e/ou operação do sistema global.

Neste contexto, é extremamente necessário haver um procedimento criado especificamente para cumprir com os padrões de sistemas de alívio de pressão de maneira lógica e eficaz. Enquanto a documentação atual foca apenas o dispositivo de alívio, deve-se colocar o equipamento como coração da análise. Esta diferença fundamental assegura que todo equipamento tenha sua proteção adequada, visto que os recursos para identificação de todos os potenciais cenários de sobrepressão são intuitivamente utilizados, tornando fácil otimizar problemas específicos e desafiadores como os de alívio multifásico, além de assegurar a adequação dos dispositivos de alívio.

A abordagem proposta engloba 4 passos basicamente:

- Identificação dos cenários de sobrepressão associados a um dado equipamento.
- Cálculo da vazão de alívio requerida por cada cenário aplicável identificado anteriormente.
- Verificação da capacidade de alívio do dispositivo associado e sua adequação ao sistema.
- Determinação de cenários de sobrepressão globais e verificação da capacidade e adequação do *header* de alívio e *flare*.

Dividindo a análise em quatro etapas distintas, uma cadeia de eventos intuitivos pode ser utilizada, aumentando extremamente a eficiência e reduzindo os custos associados. A perícia exigida para os diversos cálculos é construída gradualmente.

Introdução

Para que a análise dos dispositivos de alívio de uma unidade industrial seja realmente eficaz, é necessário que a operação dos equipamentos presentes na mesma seja representada da maneira mais fiel possível. Para tanto devem ser consultados documentos que representem o processo realizado e também documentos de projeto da unidade. Entre os principais citam-se:

- Balanços de massa e energia do processo;
- Diagramas de tubulação e instrumentação da unidade;
- Folhas de dados dos equipamentos envolvidos;
- Folhas de dados dos dispositivos de alívio utilizados.

Tendo em vista esta necessidade, torna-se extremamente vantajosa a elaboração de um banco de dados que informe de maneira clara quais documentos foram utilizados, e quais informações foram retiradas dos mesmos para assegurar a rastreabilidade de todas as informações. Sobretudo quando se leva em consideração que essa análise será realizada periodicamente ao longo do ciclo de vida da unidade.

Outra grande dificuldade para essa análise situa-se no fato de a mesma extrapolar as condições normais de operação, ou seja, trabalhará com condições que a unidade não foi projetada para operar, porém podem ocorrer durante o ciclo de vida da mesma. No diagrama abaixo é apresentado um resumo da metodologia proposta neste estudo.

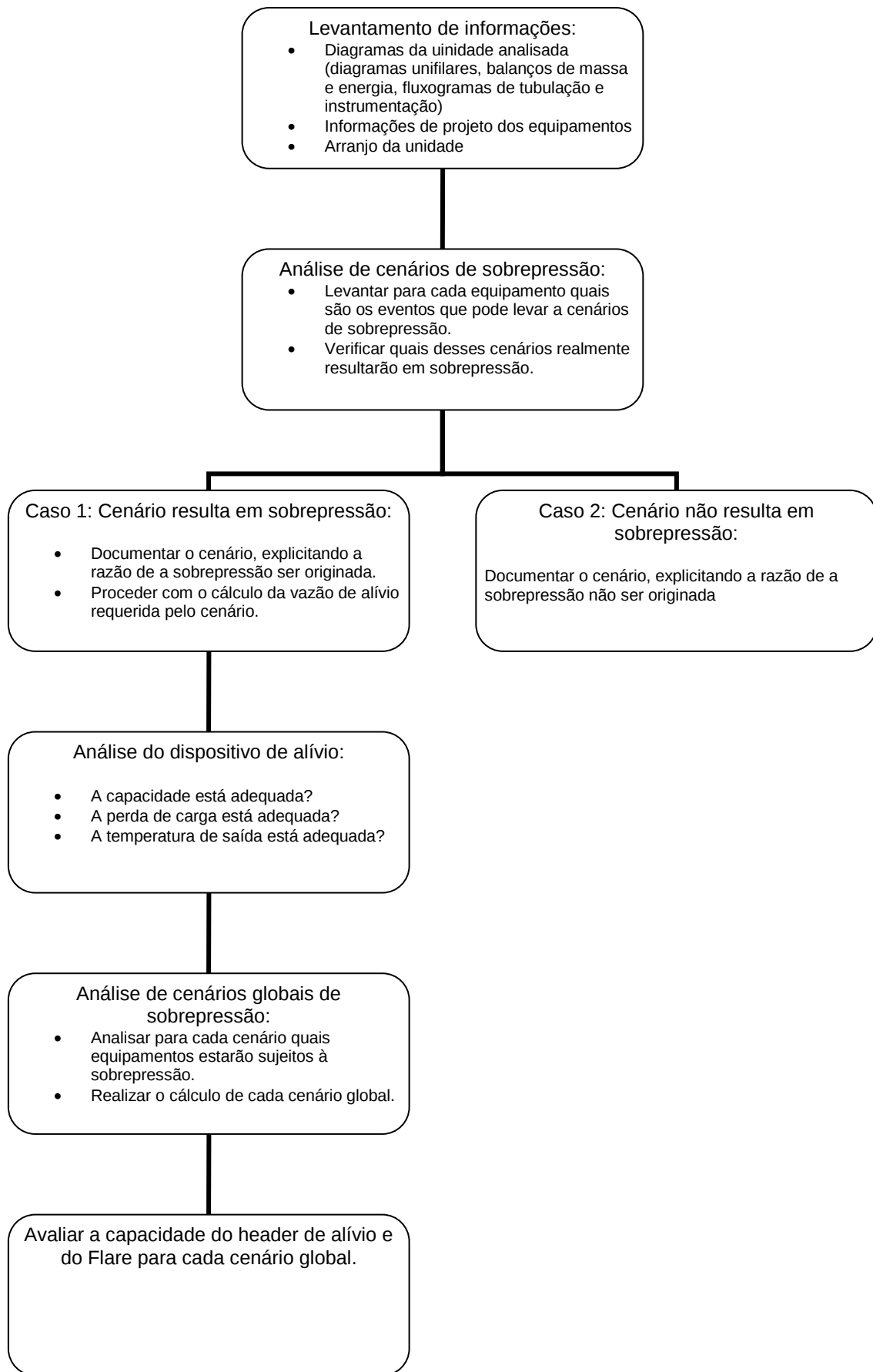


Figura 1: Metodologia para análise de sistemas de alívio de pressão

Identificação dos cenários de sobrepressão associados a cada equipamento

Esta primeira etapa da metodologia proposta se caracteriza pela análise de todos os incidentes passíveis de ocorrência em cada equipamento de uma unidade industrial. Como resultado, elabora-se uma lista contendo as premissas e os motivos que classificam estes incidentes como passíveis ou não de resultar cenários de sobrepressão. Alguns exemplos de incidentes são: bloqueio indevido de válvulas na saída de equipamentos, falhas espúrias de válvulas de controle, incêndios e perdas de utilidades.

Alguns dos cenários mais típicos, e consequentemente sempre avaliados, são listados na norma API 521 5ª Ed. (2007). Estes cenários podem ser específicos para alguns equipamentos, ou mesmo aplicáveis a algumas configurações de processo quaisquer que sejam os equipamentos envolvidos. A seguir são listados alguns dos cenários avaliados bem como algumas das principais variáveis avaliadas:

- Descargas bloqueadas: havendo a possibilidade de bloqueio nas saídas do equipamento, avalia-se a capacidade da fonte de sobrepressão (ex: bombas, compressores) superar a pressão de projeto do sistema. A possibilidade de inserção de calor e a conseqüente expansão do fluido também são capazes de definir a aplicabilidade deste cenário.
- Falha em válvulas de controle: dada a existência de uma válvula de controle de a montante do sistema estudado, avalia-se a possibilidade de a pressão de operação normal anterior à válvula superar os limites de pressão posterior à mesma. Nesta avaliação, assume-se que todas as válvulas de controle são passíveis de falharem abertas, independente do seu modo normal de falha.
- Incêndio na unidade: neste caso, avalia-se a possibilidade de formação de uma poça capaz de suportar uma chama sob o equipamento/sistema avaliado. Confirmada esta possibilidade, verifica-se a taxa de vaporização de líquido resultante da entrada de calor fornecido pela chama, no caso de um equipamento que contenha nível de líquido, ou a elevação de temperatura no caso dos sistemas que contém apenas gás.
- Falha interna em trocadores de calor: para trocadores casco e tubo, ou trocadores de placas, avalia-se a possibilidade de ruptura interna e possibilidade do fluido presente no lado de maior pressão pressurizar o lado oposto do trocador.
- Falha no sistema de refrigeração e/ou refluxo em colunas: avalia-se a possibilidade de a vazão de vapor gerada no sistema na situação da perda de equilíbrio térmico por alguma falha no sistema de refrigeração ou refluxo superar a vazão normal de operação, causando uma sobrepressão por acúmulo de massa. Requer avaliações do sistema em simuladores de processo específicos.
- Falha no sistema de absorção: avalia-se a possibilidade de sobrepressão dos equipamentos à jusante do sistema de absorção, no caso de aumento da vazão por perda de eficiência de absorção.
- Falha na energia elétrica: verifica-se, caso a caso, como a falha de energia impacta em cada equipamento, através do fechamento de válvulas, perdas de utilidades, equipamentos ou fluxos, buscando-se avaliar a possibilidade de uma condição instável poder ocorrer. O resultado deste cenário pode gerar tanto

situações que já estejam contempladas em outras avaliações de cenários, bem como gerar novas situações de risco a serem analisadas.

Uma vez verificados os cenários aplicáveis, já se sabe quais situações emergenciais o sistema de alívio deverá atuar, independentemente do grau de criticidade de cada um.

Cálculo das vazões de alívio requeridas

Para avaliar se o sistema de alívio será ou não capaz de proteger o equipamento, é necessário calcular a vazão de alívio requerida por cada cenário aplicável. Para estes cálculos são utilizadas informações de projeto (ex: pressão máxima de trabalho admissível, dimensões, pressão de ajuste dos dispositivos de alívio) e de operação (composições, vazões, pressões e temperaturas das correntes de processo) dos equipamentos.

- Cabe mencionar também que cada cenário poderá necessitar de um conjunto específico de informações, além disso, muitos cenários poderão necessitar a utilização de um simulador de processos, tendo em vista que dada a sua ocorrência se deve analisar como os balanços de massa e energia do equipamento serão impactados.

Verificação da capacidade dos sistemas de alívio

Nesta etapa realiza-se efetivamente a análise dos dispositivos de alívio existentes, ou seja, avalia-se se o mesmo será ou não capaz de aliviar a vazão requerida por cada cenário. Caso se esteja projetando um dispositivo de alívio, será nesta etapa que se verificarão as dimensões necessárias ao mesmo.

A análise dos dispositivos de alívio de pressão é realizada através da utilização das equações de dimensionamento encontradas na norma API 520 7º Ed. (2000), apresentadas a seguir:

Dimensionamento para gases em escoamento crítico:

$$A = \frac{W}{CK_D P_1 K_B K_C} \sqrt{\frac{TZ}{M}} \quad (1)$$

Onde:

A = área requerida pelo dispositivo para a vazão considerada (in²);

W = vazão requerida pelo cenário (lb/hr);

C = coeficiente calculado a partir da razão de calores específicos ($k = C_p/C_v$), as

unidades para C são: $\frac{\sqrt{lb_m \times lb_{mol} \times R}}{lb_f \times hr}$;

K_D = coeficiente de descarga do dispositivo de alívio;

P_1 = pressão de alívio a montante do dispositivo (psia);

K_B = fator de correção da capacidade devido à contrapressão;

K_C = fator de correção para válvulas de alívio de pressão com discos de ruptura instalados na entrada;

T = temperatura do gás aliviado (R);
 Z = fator de compressibilidade do gás;
 M = peso molecular do gás (lb_m/lb_{mol}).

Dimensionamento para gases em escoamento sub-crítico:

$$A = \frac{W}{735 \times F_2 K_D K_C} \sqrt{\frac{TZ}{MP_1(P_1 - P_2)}} \quad (2)$$

Onde:

F₂ = coeficiente de escoamento sub-crítico, calculado pela expressão:

$$\sqrt{\left(\frac{k}{k-1}\right) \left(r\right)^{\frac{2}{k}} \left[\frac{1-r^{\frac{k-1}{k}}}{1-r}\right]} \quad (3)$$

P₂ = contrapressão à jusante do dispositivo de alívio.

Dimensionamento para alívio de líquidos:

$$A = \frac{Q}{38 K_D K_W K_C K_V} \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica (U.S. gpm);

K_D = coeficiente de descarga da válvula;

K_W = fator de correção devido à contrapressão;

K_V = fator de correção devido à viscosidade, calculado pela expressão:

$$\left(0.9935 + \frac{2,878}{R^{0,5}} + \frac{342,75}{R^{1,5}}\right)^{-1,0} \quad (5)$$

Onde R é o número de Reynolds para o escoamento considerado;

G = gravidade específica do líquido nas condições de alívio, comparado à água nas condições padronizadas de temperatura e pressão.

Neste ponto encontra-se a grande diferença entre a metodologia proposta neste estudo e a metodologia comumente utilizada. Atualmente, para a determinação da adequação do sistema de alívio seleciona-se o pior cenário (maior vazão de alívio), e verifica-se se o dispositivo é capaz de aliviar esta vazão. No entanto, tal abordagem deixa de lado fatores importantes:

- Composição da corrente de alívio: como visto nas equações apresentadas acima, as propriedades da corrente de alívio influem diretamente no cálculo da área requerida pelo cenário, ou seja: ainda que um determinado cenário de alívio de gás não resulte na maior vazão de alívio, poderá requerer a maior área de alívio, se for suficientemente leve (baixo peso molecular);

- Limite para a perda de carga na entrada dos dispositivos de alívio: de acordo com a norma API 520 5º Ed. (2000) a perda de carga na entrada de uma válvula de alívio poderá ocasionar o fenômeno de "chattering", o que pode levar à redução da capacidade, e inclusive danificar o instrumento. Caso o cenário resulte neste fenômeno, aconselha-se a utilização de múltiplas válvulas para a redução da perda de carga
- Limites para a contra pressão desenvolvida na descarga da válvula de alívio: esta contra pressão trata da perda de carga resultante do escoamento do fluido de alívio na tubulação à jusante da válvula. Ainda de acordo com a norma citada acima, o limite para esta perda de carga dependerá do tipo de válvula utilizado:
 - o Válvulas convencionais: caso a contra pressão desenvolvida seja superior à sobrepressão permitida para a válvula (ex: 10% da pressão de ajuste), poderá levar a válvula à uma situação de operação instável.
 - o Válvulas de fole balanceado: são válvulas que podem operar com níveis maiores de contra pressão (até 50% da pressão de ajuste). Cabe ressaltar que, quando a contra pressão superar 30% da pressão de ajuste, a capacidade das mesmas começa a ser reduzida.
- Temperatura de alívio: é importante detectar cenários em que a temperatura de alívio possa exceder a temperatura de projeto do equipamento (o que pode levar ao desgaste do mesmo), ou possa estar abaixo da temperatura mínima de projeto do equipamento.

Para sanar a necessidade de documentação dos problemas mencionados acima, é fundamental utilizar uma metodologia mais completa de análise dos sistemas de alívio. Nesta etapa a metodologia proposta neste estudo avaliaria a capacidade dos dispositivos de alívio para todos os cenários de sobrepressão aplicáveis ao equipamento, não apenas ao cenário mais crítico, possibilitando verificar se algum dos cenários poderá resultar originar os problemas mencionados acima.

Além disto, tendo em vista que o cenário global dimensionante do header de Flare, pode ser composto por vazões que não seriam as mais críticas dos dispositivos de alívio envolvidos, é fundamental que a rastreabilidade destas vazões seja facilitada.

Análise de cenários globais de sobrepressão / verificação da adequacidade do Header de alívio e do Flare

Para a análise dos cenários globais de sobrepressão deve ser verificado em cada equipamento como tal cenário poderá levar à sobrepressão. A vazão resultante será o somatório das vazões resultantes em cada equipamento impactado. Os cenários globais normalmente avaliados são:

- Incêndio na planta: de acordo com a norma API 521 5º Ed. (2007) analisa-se uma área de incêndio de 25 ft², verificando-se quais dispositivos estariam aliviando neste cenário. Proceda-se com outros cenários até que toda a área da planta tenha sido avaliada.
- Falha de energia elétrica: verifica-se para cada equipamento da planta como a perda de energia elétrica poderia resultar em sobrepressão, a vazão enviada para o *FLare* será a soma das vazões de cada equipamento impactado.

- Falha no ar de instrumento: dada a ocorrência deste cenário haverá a falha segura das válvulas de controle da planta, é necessário então avaliar como essas falhas poderão resultar em sobrepressão para todos os equipamentos cujos dispositivos de alívio estejam descarregando para o sistema do *Flare*.
- Perda de utilidade: havendo a perda de alguma utilidade da planta (ex: água de resfriamento, gás combustível e vapor), os equipamentos poderão ser levados a cenários de sobrepressão. Avalia-se então quais dos equipamentos envolvidos na rede de alívio seriam impactados nestas falhas.
- Parada de emergência: para este cenário é necessário consultar o procedimento de parada da planta, a partir desta informação pode se determinar qual a vazão que será aliviada para sistema do *Flare*.

Com a utilização desta metodologia verifica-se que tanto o *Flare* quanto o *Header* de alívio são dimensionados de forma mais próxima à realidade, pois a integração das etapas torna facilitada a reavaliação das premissas face um resultado excessivamente conservativo.

Conclusões

Conforme ilustrado ao longo deste estudo é imprescindível que haja uma mudança na metodologia atual dos sistemas de alívio. Constata-se que utilizar o dispositivo de alívio como centro da análise pode levar à falhas na detecção de problemas originados em cenários que seriam desconsiderados para a análise, além de levar a um possível super dimensionamento do sistema de *Flare*. A utilização de uma metodologia integrada de avaliação dos cenários e dimensionamentos de válvulas de alívio é um procedimento eficiente, pois torna as etapas intuitivas e pouco dispendiosas.

Referências bibliográficas

- [1] Sizing, Selection and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries – ANSI/API STANDARD 520, 7th edition
- [2] Pressure-relieving and Depressuring Systems - ANSI/API STANDARD 521, 5th edition