

# Sistemas de Proteção contra Explosão

P. E. Pascon

## Introdução

Explosão é um evento normalmente abordado quando procedemos na análise de perigo e risco em plantas industriais. As condições que favorecem este evento podem fazer parte da operação normal do processo em questão; ou então, surgirem como decorrência de situações anormais. As conseqüências de uma explosão podem ser das mais variadas: queimaduras em seres vivos, fatalidades, ignição de outras partes da instalação, fusão e colapso de estruturas, ruptura total de vasos, deslocamento de equipamentos e prédios, projeção de mísseis, efeito dominó, etc.... Além da intensidade do fenômeno em si, os danos causados também serão função do tempo de exposição, tipo de construção, distância e perfil biológico.

A equipe envolvida com um determinado projeto ou responsável pela operação de uma determinada planta, precisa antes de tudo, definir qual será a filosofia de proteção a ser adotada, ou seja, se o sistema de proteção atuará antes, durante ou após a explosão. Com base nesta divisão podemos considerar e avaliar medidas que evitem explosões; medidas que funcionem simultaneamente ao curso da explosão, o qual se resume a alguns mili-segundos; e medidas que tenham efeito a partir do momento em que o evento está próximo do seu final, objetivando reduzir conseqüências posteriores.

A decisão pelo sistema de proteção mais apropriado, e qual será sua base de projeto, deverá estar baseada em critérios lógicos e admissíveis, de acordo com as possibilidades, mas sobretudo considerando as possíveis conseqüências da explosão.



**Fig. 1 - A investigação da ocorrência acima revelou que o evento foi iniciado pela decomposição térmica de um produto em pó.**

## 1. Sistemas para evitar explosões

### 1.A Controle da mistura explosiva

Esta técnica implica no controle da presença, quantidade ou concentração de qualquer um dos componentes da mistura, ou na adição de outros componentes.

O primeiro passo para este controle é através de uma concepção adequada da instalação e da implementação de procedimentos para operação e manutenção. Com isso, estaremos mantendo o produto em sua contenção primária, e não no ambiente externo, onde o seu comportamento pode se tornar bastante incerto. Embora a contenção de líquidos, gases e vapores seja de amplo domínio; a prática tem revelado, até o presente, que nas operações onde se demandam estocagem e processamento de pós a formação de dispersões no ar ou camadas sobre equipamentos ainda é bastante freqüente.

Para os sistemas fechados, a prevenção de explosão pode ser alcançada reduzindo-se a concentração de oxigênio até um nível que não suportará a reação de combustão; o que é conhecido por inertização. Isto é feito tradicionalmente utilizando-se Nitrogênio, embora dióxido de carbono, argônio, hélio e alguns gases residuais sejam usados às vezes. A concentração máxima de oxigênio (MOC) é um parâmetro adotado como ponto de ajuste para sistemas de intertravamento e alarmes. Deve-se observar que estes gases considerados “inertes” podem às vezes reagir com o produto de processo. É o caso, por exemplo, pós metálicos com CO<sub>2</sub>. Para que a inertização possa ser considerada como base para segurança, devemos analisar: os custos do gás inerte, níveis típicos de vazamento do gás, perigo de asfixia e a confiabilidade do sistema de monitoramento.

Com quantidades adequadas de ar, pode ser possível garantir que as concentrações de pó em alguns pontos da instalação permaneçam sempre abaixo da concentração mínima explosível (MEC). É ocasionalmente possível usar um pó inerte com o pó principal objetivando obter uma mistura não explosiva. Para adotar esta técnica, a concentração mínima de pó diluente deve ser pesquisado em testes de laboratório.

### 1.B Exclusão das fontes de ignição

Toda planta deveria, a rigor, tomar as medidas mais rígidas possíveis contra a introdução, geração ou permanência de fontes de ignição dentro dos limites de bateria, mas devido à confiabilidade limitada das instalações e falhas humanas a eliminação completa das fontes de ignição se mostra uma tarefa complexa.

Casos práticos revelam certos tipos de unidades fabris, em que mais de 25 tipos distintos de fontes de ignição foram identificados. Uma análise cuidadosa de todos os aspectos de projeto, operação e características dos produtos é vital, antes de se estabelecer a “exclusão de todas as fontes de ignição” como base de segurança. A exclusão de todas as fontes óbvias normalmente é o primeiro passo em segurança industrial, mas não deve ser considerada como base de segurança. Somente estudos mais detalhados e sistemáticos como o PHA e o HAZOP poderão identificar quais são as fontes de ignição que poderão ocorrer durante a operação. As medidas de energia mínima de ignição, temperatura mínima de ignição e a

temperatura de ignição em camada são parâmetros que devem ser conhecidos para que exclusão seja feita de forma criteriosa até onde seja possível.

Classificação elétrica de área perigosa é uma das formas de se fazer exclusão de fontes de ignição de origem elétrica que, sem dúvida, deveria ser compulsório em qualquer projeto. Entretanto, o fato de uma determinada instalação ter sido classificada e construída nos moldes pertinentes não implica em exclusão total – um erro freqüentemente cometido.

### 1.C Segurança intrínseca

A essência de um projeto intrinsecamente seguro é evitar ou remover ou perigos ao invés de adicionar equipamentos, itens ou instalações de proteção. Quanto menos a segurança for dependente de equipamentos, sistemas e procedimentos, mais intrinsecamente seguro é a planta ou o processo. Praticamente a única versão de segurança intrínseca de prática corrente em nosso parque industrial são os equipamentos eletro-eletrônicos intrinsecamente seguros.

Um circuito intrinsecamente seguro é definido pelos padrões da CENELEC como: “Um circuito no qual nenhuma centelha e nenhum efeito térmico produzido nas condições de teste prescritas neste padrão (o qual inclui operação normal e as condições de falha especificadas) é capaz de causar ignição de uma determinada atmosfera explosiva”. A segurança está garantida mesmo na presença de falhas. Segurança intrínseca é a técnica normalmente utilizada para garantir que a segurança de instrumentos em atmosferas potencialmente explosivas. É um conceito britânico que data do começo do século e abrange equipamentos, barreiras de segurança e sistemas.

Entretanto, a partir da década de 70 este conceito foi entendido como sendo muito mais amplo. O conceito de um projeto intrinsecamente seguro foi introduzido por Trevor Kletz em 1976, num trabalho desenvolvido a partir do acidente em Flixborough (U.K.). Desde então, ele tem divulgado e publicado muito sobre este tema. No início o interesse era limitado, mas a grande perda de vidas em Bhopal (1984) deu um ímpeto maior à discussão.

Um exemplo doméstico deste conceito pode ser verificado entre um sobrado e uma casa térrea. Escadas são uma fonte significativa de acidentes num sobrado, conseqüentemente uma casa térrea poderia ser considerada intrinsecamente segura. Escadas são intrinsecamente inseguras, mas elas se podem se tornar seguras através de iluminação, corrimão, portão para crianças, etc... É importante distinguir entre segurança intrínseca e segurança, uma vez que segurança intrínseca é a qualidade mais desejável. É melhor alcançar segurança intrinsecamente (por exemplo: dispensando as escadas), do que através de modificações.

A segurança intrínseca está baseada em 5 princípios:

**substituição-** substituir materiais perigosos por menos perigosos (reconhecendo porém que aqui poderia haver algum proveito para o ciclo de vida e do produto). Exemplo: mudar o meio de resfriamento no processo de óxido de etileno de óleo térmico para água pressurizada.

**intensificação-** reduzir os inventários de produtos perigosos. Exemplo: passar a operar com quilogramas ao invés de toneladas num processo como o de fabricação de nitroglicerina.

**atenuação-** usar processos ou materiais perigosos em condições menos severas, de forma a limitar seu perigo potencial.

Exemplo: dissolver num solvente, estocar amônia em tanques refrigerados onde a pressão é mais baixa, usar traço de vapor para limitar temperatura.

**isolamento-** separar os produtos químicos das pessoas. Exemplo: reduzir as tensões de projeto em tubulações de gás para aumentar a integridade de contenção, montar plantas em locais afastados de vias públicas.

**simplificação-** fazer a planta e o processo mais simples de projetar, construir operar, e conseqüentemente menos factíveis de falhas humanas, de controle ou de equipamentos. Exemplo: injetor com falha segura para mistura de ácido nítrico e glicerina.

## 2. Sistemas para reduzir os efeitos da explosão durante seu curso

### 2.A Contenção

Esta técnica de proteção consiste em projetar o vaso, equipamento de processos, invólucro ou prédio para suportar a pressão de uma explosão confinada. Plantas resistentes a explosões podem suportar a pressão de uma explosão confinada várias vezes sem deformação permanente. Por outro lado, uma planta também pode ser projetada para resistir a “golpes” de pressão resultante de explosões. Neste caso, podem suportar a pressão de uma explosão confinada sem ruptura, mas com alguma deformação permanente. A diferença entre os dois projetos é que no caso da planta resistente a “golpes” emprega-se um material de construção com limite de escoamento maior.

Contenção é uma medida bastante freqüente em equipamentos que operam em pressões negativas, como os secadores à vácuo. Por outro lado, é adequada a equipamentos normalmente robustos como moinhos. Em plantas onde produtos muito tóxicos são processados, como pesticidas e outros ingredientes ativos; e uma eventual emissão para a atmosfera teria conseqüências inaceitáveis, a contenção acaba sendo uma das únicas alternativas viáveis de proteção apesar dos altos custos envolvidos.

Em equipamentos isolados, dependendo das condições de processo, as pressões máximas geradas numa explosão situam-se na faixa de 7 - 10 vezes a pressão de operação (vide Fig.2). A pressão máxima de explosão  $P_{max}$ , pode ser medida em testes padrão de severidade, através da esfera de 20 litros ou vaso de 1 m<sup>3</sup>. Entretanto, determinar a resistência mecânica de um determinado equipamento pode não ser uma tarefa simples, principalmente quando este não foi projetado conforme as normas para vasos de pressão. A resistência da parte mais fraca, isto é, uma solda, junta, bocal, etc..... será o determinante da pressão máxima admissível.

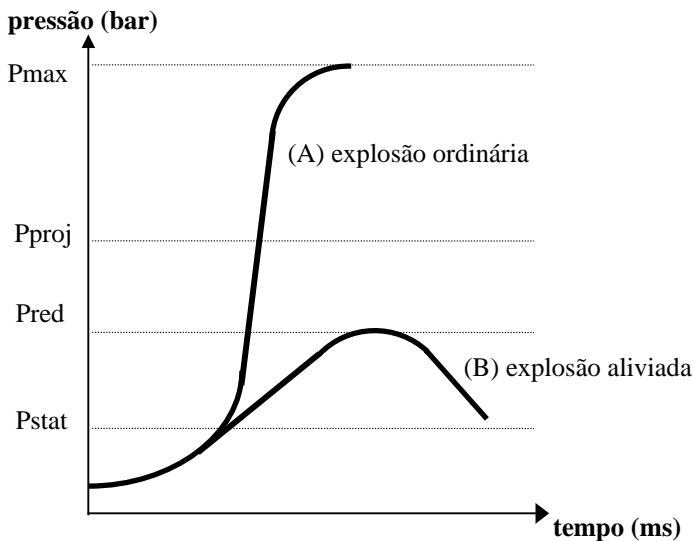
Nesta categoria de proteção estão incluídos os equipamentos elétricos a prova de explosão, os quais são projetados para resistir a uma explosão interna sem sofrer danos.

### 2.B Alívio ou “Venting”

É um dos meios mais comuns de se controlar uma explosão, usando basicamente o mesmo conceito de alívio de pressão para líquidos, gases e vapores. Consiste em interromper o curso da elevação de pressão durante a explosão, escoando os gases de combustão já formados e a parcela da mistura inflamável ainda não queimada, mas que está sendo comprimida, para o exterior do equipamento onde ocorreu a explosão através de uma

abertura suficientemente grande. Este escoamento ocorre através de discos de ruptura, painéis de explosão ou portas de explosão. As dimensões e a pressão de ajuste destes dispositivos de proteção são determinados com base nos parâmetros pressão máxima da explosão ( $P_{max}$ ) e severidade da explosão ( $K_{st}$  ou  $K_G$ ).

Numa explosão confinada, a pressão subiria conforme mostra a curva A da Fig. (2). No caso de um pó e na ausência de alívio, esta pressão poderia atingir 10 barg ou mais ( $P_{max}$ ), ou seja, um valor maior do que muitos equipamentos processando pó podem suportar. Entretanto, se o sistema começar a ser aliviado logo após o início da explosão a pressão máxima gerada estará limitada ao que se convencionou chamar de pressão reduzida da explosão ( $P_{red}$ ), como mostra a curva B. A pressão reduzida será uma função da abertura e localização do alívio, da pressão de abertura ( $P_{stat}$ ), da inércia do aparelho, da perda de carga nos dutos, do estado da mistura e da ocorrência de obstruções no interior do equipamento protegido.

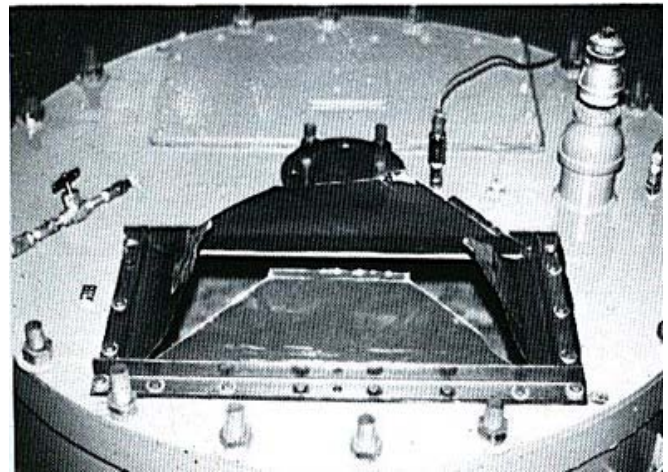


**Fig. 2 - Curva da elevação da pressão durante uma explosão**

Na especificação destes sistemas de alívio, tão importante quanto o próprio dispositivo de alívio, é a disposição segura do material ejetado. Em se tratando de alívio de pós, o volume e a temperatura são muito maiores. Durante a explosão de um pó grandes quantidades de partículas não queimadas ou parcialmente queimadas podem ser ejetadas e, ao atingir a atmosfera externa são levadas à ignição pela própria frente de chama. Os gases da explosão, o pó ainda não queimado e a frente de chama devem ser direcionados para um local onde não haja circulação de pessoas, outros equipamentos ou plantas vizinhas. Isto pode ser obtido através de defletores ou dutos. Se no percurso do fluxo de alívio existir pontos onde ocorram depósitos ou formação de camadas de pó, poderá haver dispersão e explosões sucessivas.



**Fig. 3 – Jato de fogo durante o alívio de uma explosão**



**Fig. 4 - Atuação de um painel de alívio durante o fenômeno**

## 2.C Supressão

A explosão não é um fenômeno instantâneo, e normalmente seu curso leva um intervalo que vai de 30 a 100 ms. A teoria de 2 etapas que sustenta o mecanismo de supressão é detectar a explosão incipiente imediatamente após a ignição, e descarregar um material extintor na bola de fogo em expansão para resfriar a chama antes que pressões destrutivas se desenvolvam (vide esquema na Fig.5). Logicamente, o equipamento a ser protegido deverá ser compatível com a pressão reduzida gerada pela bola de fogo. De acordo com Schofield e Abbot, a pressão reduzida para uma explosão suprimida depende de:

- tipo de detector e nível limite de detecção, no qual a explosão é reconhecida;
- eficiência, quantidade e taxa de descarga do agente supressor;
- número de supressores instalado no equipamento;
- classe da explosão.

Enquanto que alívio é uma forma passiva de proteção, a supressão depende de equipamentos de alta confiabilidade. Um sistema de supressão típico compreende um detector de explosão, os injetores (supressores), as garrafas de agente supressor e uma unidade de controle central. A detecção normalmente é feita por pressão ou radiação. A garrafa do agente supressor é mantida pressurizada com nitrogênio, e permanece isolada nos injetores através de um selo. Este selo se rompe através de um agente detonante, acionado pela unidade de controle quando se iniciar a explosão no equipamento a ser protegido. O agente supressor é injetado na forma pulverizada. Como agentes supressores tem-se utilizado bicarbonato de sódio e hidrocarbonetos halogenados.

A supressão é uma alternativa favorável quando produtos extremamente tóxicos estão envolvidos, proteção ambiental é imperativa e a adoção de contenção se mostra muito onerosa.

## 2.D Isolamento

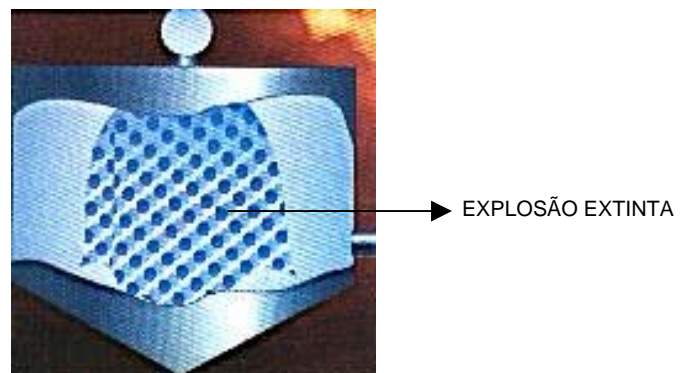
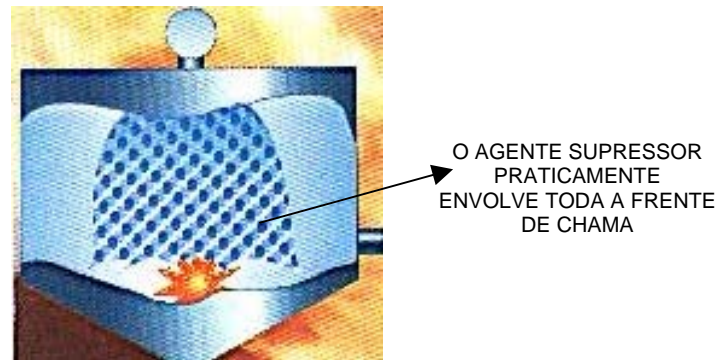
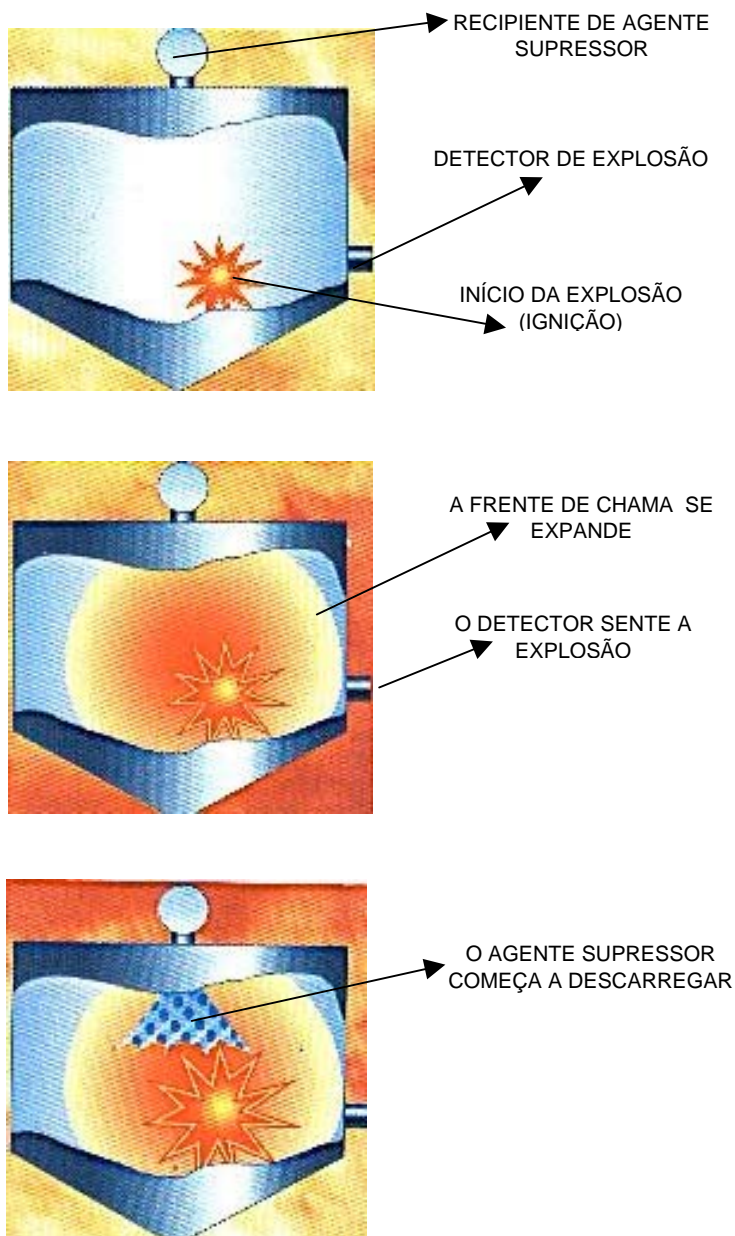
Até onde for praticável, as explosões devem ser mantidas isoladas das demais partes da instalação. O isolamento permite que as explosões iniciadas num ponto específico da instalação não se propaguem para outros pontos. Requer os que os parâmetros ( $dP/dt$ ) $_{max}$ ,  $P_{max}$  e velocidade de chama sejam conhecidos.



O isolamento deve ser analisado sempre que estivermos considerando os demais sistemas de proteção, ou seja, contenção, alívio ou supressão; caso contrário estaremos protegendo apenas uma parte das instalações. Pode ser alcançado de forma passiva; como por meio de válvulas rotativas, roscas transportadoras e tubos de restrição; ou de forma ativa, como válvulas de ação rápida, desvios e barreiras extintoras (vide Fig. 6)

É normalmente um boa prática adotar intertravamentos, de forma que, se um equipamento ou invólucro sofrer uma explosão e romper, todos os equipamentos a ele conectados são desativados. É o caso, por exemplo, do transporte de pó por esteiras, roscas ou dutos, que devem ser parados, porque pedaços de material em brasa ou chamas acabariam sendo transportados para outros pontos e aí funcionariam como fonte de ignição para explosões secundárias.

**Fig. 5 - Seqüência de um sistema de supressão**



### 3. Sistemas para minimizar as conseqüências de uma explosão

#### 3.A Lay-out

A definição de um “lay-out” coerente para uma unidade fabril visa 3 objetivos:

- garantir que as plantas mais perigosas não se constituam num perigo desnecessário para outras plantas, equipamentos e pessoas como decorrência de um posicionamento muito próximo.

- como decorrência lógica, as plantas individuais que compõem um complexo fabril deveriam estar distanciadas uma das outras, e também de outras propriedades adjacentes ou vias públicas, de forma que um incidente iniciado numa primeira planta não se propague para as demais plantas ou para fora dos limites de bateria através de “Efeito Dominó”. Devem ser levados em conta: explosão interna, fogo, emissão de material inflamável ou emissão de material tóxico.

- propiciar acesso adequado a todos os locais, de forma que operações de resgate, combate à incêndio, etc.... não tenham nenhum tipo de restrição.

O “lay-out” do diversos itens que compõem um determinada planta, bem como das diversas plantas que compõem um complexo fabril pode ser decisivo para interromper um possível “efeito dominó” iniciado por uma explosão e que pode até destruir várias plantas vizinhas.

Alguns fatores básicos, muitos dos quais descritos em normas e boas práticas, servem de orientação preliminar para a definição

de um “lay-out”, a saber: localização dos limites de fábrica, passagem de linhas férreas, salas de controle, escritórios e oficinas, estações de carga e descarga, tancagens, tubovias, etc.....Entretanto, somente uma estimativa de conseqüências para os possíveis eventos perigosos é que determinará qual o “lay-out” mais adequado. A investigação de muitos acidentes mostra claramente que a altura de uma planta é um fator de importância na propagação de um incidente. Recomenda-se a análise de três tipos de propagação: (1) o colapso de estruturas altas sob prédios vizinhos, (2) a radiação térmica de um incêndio ou explosão nas instalações e produtos estocados nas vizinhanças e (3) a dispersão de materiais inflamáveis, queimando ou não, ao redor de uma unidade já em chamas.

Um dos comportamentos característicos dos pós, anteriormente discutido, é a formação de camadas; as quais funcionam como elemento de propagação de um efeito dominó, pois podem ser desalojadas por uma primeira explosão, formar uma segunda nuvem, explodir e assim sucessivamente. Da mesma forma, um sistema de proteção como por exemplo um “fluxo de alívio” pode perfeitamente servir de fonte de ignição para um segundo evento.



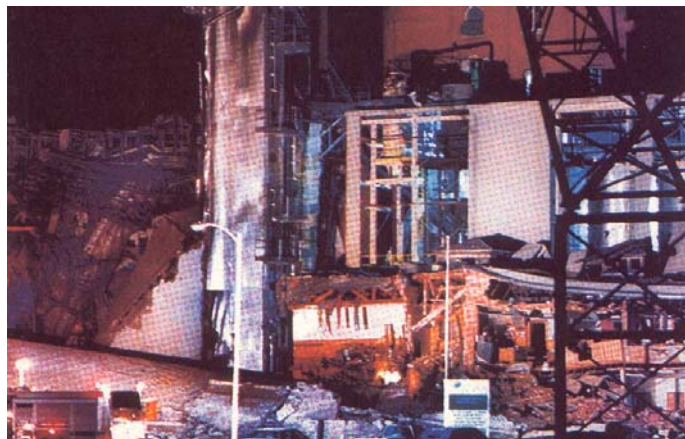
**Fig. 6 - Válvula de ação rápida**

### 3.B Sistema de combate à incêndio

Em muitos casos, uma das conseqüências de uma explosão é fogo, propagado para as outras partes adjacentes pela própria frente de chama. Neste aspecto um sistema de combate à incêndio desempenha uma papel similar a de um “lay-out” coerente e se constitui numa medida arrojada para prevenção de perdas numa instalação.

Entretanto, devemos lembrar que, além de levar em conta as normas e boas práticas de engenharia, o sistema de combate precisa ser projetado também em função dos eventos perigosos possíveis de ocorrer dentro dos limites de bateria, o que é uma característica específica de cada planta ou processo de fabricação.

**Fig. 7 – Um operador morreu e vários outros ficaram gravemente feridos nesta usina de açúcar, localizada no estado de Nebraska, U.S.A, após uma explosão em 22/ Julho/ 1996. Sete silos de armazenagem explodiram, projetando açúcar num raio de 1600 m ao redor da planta. Os danos causados nas instalações foram estimados em US\$ 18 milhões. A este valor devemos acrescentar os custos decorrentes da interrupção dos negócios, publicidade negativa, tensão interna, assistência a vítimas, reorganização, etc....**



### Autor:

**P. E. Pascon**, Eng. Químico, faz parte da equipe profissional da **Processos - Soluções de Engenharia S/C Ltda.**, empresa especializada nas disciplinas de segurança de processos, prevenção de perdas e proteção ambiental ([www.processos.eng.br](http://www.processos.eng.br) / [processos@processos.eng.br](mailto:processos@processos.eng.br))

### Referências:

1. Lunn, G.A., Guide to Dust Explosion Prevention and Protection, 2nd Edition, IchemE, Rugby, UK (1992);
2. Verein Deutscher Ingenieure, Pressure Release of Dust Explosions (VDI-3673), Düsseldorf, Germany (1993);
3. Bartknecht, W., Dust Explosions: Course, Prevention and Protection, Springer - Verlag (1989);
4. Eckhoff, R.K., Dust Explosions in the Process Industries, 2nd Edition, Butterworth - Heinemann (1997);
5. Guide for Explosion Venting (NFPA68) National Fire Protection Association, Quincy, USA (1988);
6. Palmer, K.L., Dust Explosions and Fires, 1st edition, Elsevier, Borehamwood, UK (1973);
7. Lees, F.P., Loss Prevention in The Process Industries, 4st edition, Butterworth , U.K. (1996);
8. Holbrow, P., Andrews, S. and Lunn, G.A., Dust explosions in interconnected vented vessels, J. Loss Prev. Process Ind., vol. 9, no.1, pp. 91-103 (1996).