



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia



IBAPE BAHIA
Instituto Brasileiro de
Avaliações e Perícias de
Engenharia da Bahia

Explosão de Vaso Pressurizado

Luciano Gardano Elias Bucharles



O conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade de seus autores.

**XX COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES
E PERÍCIAS - IBAPE/BA – 2019**

TRABALHO DE PERÍCIA: EXPLOSÃO DE VASO PRESSURIZADO

Resumo

Este trabalho se refere à explosão de um vaso pressurizado do tipo digestor de penas, instalado no setor de produção de farinha de uma empresa destinada ao abate de frangos para transformação em alimentos congelados, ocorrida no ano de 2018 e que resultou na morte de três funcionários. Realizados os ensaios de caracterização e de resistência dos materiais constituintes do equipamento, com posterior dimensionamento dos componentes e verificação das manutenções e das condições de operação, constatou-se não haver qualquer irregularidade em relação à estrutura do casco e do tampo do digestor, sendo que a explosão ocorreu em virtude de repetidos aumentos da pressão interna do sistema, acima da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (5,00 kgf/cm²) e da Pressão de Projeto (6,40 kgf/cm²), que não era aliviada, principalmente, pela alteração intencional da pressão de abertura da válvula de segurança, situação esta que gerou a ocorrência de fratura por fadiga nos parafusos de conexão do tampo ao casco do digestor, decorrente de regime repetido de tensões normais de tração e formação de deformações plásticas em todos os parafusos.

Palavras-chave: Digestor, Explosão, Manutenção preventiva, Colapso estrutural.

1 EXPOSIÇÃO

1.1 Introdução

As explosões de caldeiras e de vasos de pressão são eventos extremamente impactantes, comprometendo não apenas os equipamentos e as edificações, mas, principalmente, expondo a um elevado grau de risco as pessoas que trabalham ou que permanecem no entorno dos equipamentos pressurizados. Os sinistros com caldeiras e vasos de pressão geralmente acontecem por erro de operação, erro de projeto, defeito de material ou alteração proposital das condições de operação do equipamento. Assim, a análise individual destas possibilidades, por meio de ensaios para caracterização do material, ensaios de resistência, dimensionamento dos componentes, verificação das manutenções e das condições de operação são fundamentais para a determinação real da causa do sinistro. O presente trabalho analisará a explosão de um vaso de pressão (digestor de penas), que resultou na morte de três funcionários da empresa, fornecendo um roteiro pericial que poderá ser empregado em casos semelhantes, quer seja em situações de ocorrência de sinistros, quer seja em processos de manutenções preventivas de caldeiras e de vasos de pressão.

1.2 Equipamento Sinistrado

O equipamento sinistrado (digestor) encontrava-se instalado em uma empresa de abate de frangos para transformação em alimentos congelados, mais precisamente no setor de produção de farinha (Imagens 01 a 04). Este digestor destinava-se ao processamento de penas, da seguinte forma: os remanescentes do processo produtivo da empresa em questão (penas, vísceras, gorduras) são encaminhados, por tubulação, para os digestores. Estes digestores fazem o processamento (cozimento) com vapor (gerado em caldeira), funcionando com altas temperaturas e pressões. No digestor de penas, a carga permanece em processamento entre 40 e 60 minutos, para posterior encaminhamento aos secadores. As características técnicas deste digestor de penas são as seguintes:

Identificação

- Descrição : tanque horizontal encamisado
- Categoria : III / Classe C / Grupo 3
- Ano de fabricação : 2001

Características de operação

- Fluido : vapor de água
- PMTA : 5,00 kgf/cm²

Dados de projeto

- Código de projeto : ASME VIII DIV I
- Pressão de projeto : 6,40 kgf/cm²
- Diâmetro interno : 1500 mm
- Volume interno : 8 m³
- Pressão teste hidrostático : 7,50 kgf/cm²
- Espessura chapa do casco : 15,8 mm

- Espessura chapa do tampo : 15,8 mm
- Comprimento do casco : 3000 mm
- Espessura mínima trabalho : 7,00 mm
- Material casco/tampo : ASTM A 285C
- Aspectos construtivos : solda arco submerso
- Dispositivos de segurança : válvula de segurança e manômetros



Imagens 01 e 02: a imagem à esquerda indica a posição final do digestor, depois da explosão, enquanto na imagem à direita se observa a completa integridade do casco do digestor.



Imagens 03 e 04: à esquerda observa-se a posição final do tampo do digestor, distante 27 metros do casco, bem como a integridade do tampo. À direita, detalhe do tampo do digestor com seccionamento de parte para realização de ensaios de composição e resistência.

1.3 Exames

Ao exame do digestor, depois de realizados os ensaios de composição e de resistência dos materiais, bem como realizados os dimensionamentos estruturais, observou-se o que segue:

a) Conferido o dimensionamento deste tanque horizontal encamisado, observa-se que as dimensões (comprimento, diâmetro e espessuras) são compatíveis ao tipo de material empregado, bem como à Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA)¹. Assim, não se vislumbrou qualquer irregularidade no que se refere ao dimensionamento e aos materiais constituintes projetados para este digestor, conforme previsto nas Normas ABNT NBR 16035:2012 e 16528:2008.

¹ Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) é o maior valor de pressão a que um equipamento pode ser submetido continuamente

b) Confrontando-se as dimensões reais do digestor (comprimento, diâmetro e espessuras) com aquelas previstas em projeto, não foram verificadas diferenças relevantes que viessem a comprometer a segurança, especialmente quando da operação do equipamento nas condições de projeto.

c) O material constituinte do casco e do tampo efetivamente é aquele previsto em projeto: aço carbono de especificação ASTM A 285C.

d) Assim sendo, não foi constatada qualquer irregularidade quanto ao dimensionamento original e à montagem do digestor sinistrado.

e) Conforme Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) emitida pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), entre os dias 07/12/2015 e 27/12/2015 foi realizada inspeção, do tipo inicial, no digestor sinistrado, sendo que neste tipo de inspeção são realizados exames internos e externos, bem como Teste Hidrostático (TH), não havendo informação de nenhuma anormalidade na estrutura e no funcionamento deste digestor durante a realização desta inspeção.

f) Esta inspeção encontrava-se dentro do prazo máximo três anos determinado pela NR-13 (Norma Regulamentadora nº 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação), uma vez que o sinistro ocorreu dia 05/06/2018.

g) Examinando-se detalhadamente a estrutura metálica do casco do digestor, interna e externamente, não foi verificada nenhuma ruptura característica de colapso estrutural por pressão anormal (Imagens 01 e 02), indicando claramente que a explosão não ocorreu por pressão interna superior à resistência máxima da estrutura do casco do digestor.

h) Examinando-se detalhadamente a estrutura metálica do tampo do digestor, interna e externamente, não foi verificada nenhuma ruptura característica de colapso estrutural por pressão anormal (Imagens 03 e 04), indicando claramente que a explosão não ocorreu por pressão interna superior à resistência máxima da estrutura do tampo do digestor.

i) Examinando-se detalhadamente os elementos de conexão (60 parafusos de aço, com bitola de $\frac{3}{4}$ de polegada) do tampo ao casco do digestor, por meio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), observou-se a ocorrência de fraturas por fadiga, com ocorrência de regime repetido de tensões normais de tração e formação de deformações plásticas, características estas de processo repetido de elevação e redução gradual da pressão interna do digestor, acima do limite de projeto (Imagens 05 e 06).



Imagens 05 e 06: em ambas as imagens observa-se a face interna do tampo, exemplificando a fratura completa de parafusos por fadiga (círculos amarelos).

j) Mas como podem ter ocorrido, repetidamente, elevações graduais da pressão interna do digestor, acima dos limites de operação e de projeto, se este equipamento apresentava, como dispositivos de segurança, indicadores de pressão e válvula de segurança? Nestas condições, passa-se à análise destes dispositivos de segurança, individualmente, a fim de obter mais vestígios para determinar a causa da explosão do digestor.

k) O digestor motivo pericial continha 03 (três) medidores/mostradores analógicos de pressão (manômetros), de marca de fabricação VALVICON, de classe de exatidão “A1”, conforme características estabelecidas na norma ABNT NBR 14105, e com faixa de indicação compreendida entre 0 e 16 kgf/cm² (Imagem 07). Estes manômetros foram bastante comprometidos pela explosão, inclusive com desprendimento e perda de peças e componentes, o que impede a realização de ensaios para constatação das condições atuais e pretéritas de funcionamento e eficiência.

l) Cumpre referir que conforme etiquetas autoadesivas fixadas nos versos dos manômetros, as calibrações destes equipamentos estavam vencidas, uma vez que a data da próxima calibração era 10/12/2017 (Imagens 08 a 10).

m) Tal situação fica corroborada pelos Certificados de Calibração fornecidos pela empresa. Este vencimento das calibrações dos manômetros contraria o disposto na NR-13, mais precisamente no subitem 13.5.3.2:

13.5.3.2. Os instrumentos e controles de vasos de pressão devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais.



Imagem 07: vista dos manômetros do digestor motivo pericial, bastante danificados pela explosão, com desprendimento e perda de peças e componentes.



Imagens 08 a 10: vista das etiquetas dos manômetros, indicando a data da próxima calibração (10/12/2017), ou seja, os manômetros estavam com a calibração vencida no dia do sinistro.

n) O digestor motivo pericial apresentava válvula de segurança (para alívio de pressão) com alavanca, de marca de fabricação Spirax Sarco, de diâmetros 1½" x 1½", em ferro fundido (Imagens 11 e 12). Realizados ensaios com este equipamento de segurança, observou-se "passagem desde o início da aplicação da pressão", ou seja, o equipamento apresenta pequeno alívio de pressão mesmo quando do início da pressurização do sistema. Ainda conforme os testes realizados, constatou-se que a abertura total da válvula ocorre apenas quando a pressão do sistema atinge 7,00 kgf/cm², ou seja, 40% acima da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (5,00 kgf/cm²) e praticamente 10% acima da Pressão de Projeto do digestor sinistrado (6,40 kgf/cm²). Esta alteração da pressão de abertura total da válvula foi realizada propositadamente, uma vez a impossibilidade de alteração accidental em valor desta magnitude. A condição desta válvula de segurança também contraria o disposto na NR-13, mais precisamente no subitem 13.5.3.2:

13.5.3.2. Os instrumentos e controles de vasos de pressão devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais.



Imagens 11 e 12: vistas da válvula de segurança, nas condições em que foi recuperada dos escombros.

o) O perito solicitou, à empresa, os registros de manutenção corretiva e preventiva do digestor motivo pericial, referentes aos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 (até a data do sinistro). Analisando-se estes registros, não foi observada nenhuma anotação referente à realização de qualquer manutenção corretiva e/ou preventiva nos dispositivos de segurança (manômetros e válvula de segurança).

p) Nestas condições, constata-se que todos os dispositivos de segurança do digestor de penas sinistrado apresentavam manutenções inadequadas, quer seja por vencimento do prazo de calibração (manômetros), quer seja pela inexistência de registros de manutenção na válvula de segurança de alívio de pressão, que apresenta claras evidências de incompatibilidade com as características originais de projeto ("passagem desde o início da aplicação da pressão" e abertura total da válvula apenas quando a pressão do sistema atinge 7,00 kgf/cm², ou seja, 40% acima da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (5,00 kgf/cm²) e praticamente 10% acima da Pressão de Projeto do digestor sinistrado (6,40 kgf/cm²)).

2 CONCLUSÕES

Em virtude dos exames realizados e anteriormente descritos, conclui-se o que segue:

a) Não foram constatadas irregularidades no que se refere ao dimensionamento, tipo de material empregado e execução do digestor sinistrado, estando todos estes elementos em conformidade com as características de operação previstas e com os dados de projeto;

b) Os registros de manutenção corretiva e preventiva do digestor motivo pericial, referentes aos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 (até a data do sinistro), apresentados pela própria empresa, não continham nenhuma anotação referente à realização de qualquer manutenção corretiva e/ou preventiva nos dispositivos de segurança deste digestor (manômetros e válvula de segurança);

c) Os dispositivos de segurança destinados a medir a pressão interna do sistema, e mostrar externamente tal valor (manômetros), encontravam-se, quando da ocorrência da explosão, com a calibração vencida há praticamente 06 (seis) meses, sendo que os danos decorrentes da explosão, inclusive com desprendimento e perda de peças e de componentes, impedem a realização de ensaios para constatação das condições atuais e pretéritas de funcionamento e eficiência;

d) O dispositivo de segurança destinado ao alívio de pressão do digestor sinistrado (válvula de segurança) apresenta evidências claras de ausência de manutenções preventivas e corretivas adequadas, uma vez ter sido constatada, conforme ensaios realizados, “passagem desde o início da aplicação da pressão”, ou seja, o equipamento apresenta pequeno alívio de pressão mesmo quando do início da pressurização do sistema;

e) Ainda conforme os testes realizados, constatou-se que a abertura total da válvula de segurança ocorre apenas quando a pressão do sistema atinge 7,00 kgf/cm², ou seja, 40% acima da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (5,00 kgf/cm²) e praticamente 10% acima da Pressão de Projeto do digestor sinistrado (6,40 kgf/cm²), corroborando com uma possível ausência de manutenções preventivas e corretivas adequadas neste dispositivo fundamental de segurança do equipamento;

f) Esta alteração da pressão de abertura total da válvula foi realizada propositadamente, uma vez a impossibilidade de alteração acidental em valor desta magnitude, e teve por finalidade acelerar o processamento dos resíduos depositados no interior do digestor;

g) Ademais, observa-se uma possível conivência dos responsáveis e dos operadores do equipamento quanto à variação significativa da pressão de abertura total da válvula de segurança, uma vez que este valor seria facilmente constatado pelos funcionários pela simples leitura dos manômetros;

h) Nestas condições, conclui-se que a explosão do digestor de penas ocorreu em virtude de repetidos aumentos da pressão interna do sistema, acima da Pressão Máxima de Trabalho Admissível originalmente dimensionada (5,00 kgf/cm²), e acima da Pressão de Projeto (6,40 kgf/cm²), que não era aliviada, principalmente, pela alteração intencional da pressão de abertura da válvula de segurança, situação esta que gerou a ocorrência de fraturas por fadiga nos parafusos de conexão do tampo ao casco do digestor, decorrentes de regime repetido de tensões normais de tração e formação de deformações plásticas em todos os parafusos.

3 BIBLIOGRAFIA

BOTELHO, M.H.C. *Resistência dos materiais*. Studio Nobel. São Paulo: 1998.

GARCIA, A., SPIM, J.A., SANTOS, C.A. *Ensaio dos materiais*. LTC Editora. Rio de Janeiro: 2000.

NBR 14105:2013. *Medidores de pressão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

NBR 16035:2012. *Caldeiras e vasos de pressão – requisitos mínimos para a construção*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

NBR 16528:2008. *Caldeiras e vasos de pressão – requisitos mínimos de desempenho*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

NR-13. *Norma Regulamentadora nº 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação*. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE).