

Aplicação de FMEA em Estudo de Falhas em Tanques Rodoviários que Transportam Líquidos Perigosos a Granel

Silvio José Schmidt (SOCIESC) sylviojs@bol.com.br
Antonio José dos Santos (SOCIESC) antioniodos.santos@bol.com.br

Resumo:

Este artigo aborda aspectos gerais sobre transporte no Brasil, em função da demanda de produtos perigosos pela sociedade. Descreve a legislação inerente ao setor e a estatística de fiscalização e acidentes dos veículos que transportam produtos perigosos nas estradas de São Paulo. Apresenta definições sobre vaso para transporte com demonstrações de modelos de tanques e tipo de configurações de transporte com aspectos específicos. Aborda peculiaridades dos materiais para a construção de vaso e mecanismos de surgimento e propagação de fratura no corpo da estrutura. Uma pesquisa sobre incidência de anormalidades em tanques que transportam líquidos perigosos a granel é apresentada, sugerindo defeitos e falhas, onde os indivíduos entrevistados atribuem valores, tendo seus resultados demonstrados em gráficos e tabelas, evidenciando quais modelos e partes do corpo do tanque estão mais vulneráveis à incidência de falhas. Comentário de como foi utilizado o FMEA para propor soluções ao caso, abordando o efeito das anormalidades sobre a função de armazenamento, transporte e descarga do produto, bem como formas de prevenção são estabelecidas para contribuir com a erradicação de fatores geradores de anormalidades nos tanques rodoviários.

Palavras chave: Transporte de Produtos Perigosos, Tanques Rodoviários, Análise de Falhas, FMEA

Study on Application of FMEA Failure in Tank Road carrying Bulk Hazardous Liquids

Abstract

This article discusses general aspects of transportation in Brazil, due to demand dangerous goods by society. Describes the rules inherent in the sector and the statistical monitoring and accidents of vehicles carrying dangerous goods on the streets of Sao Paulo. Provides definitions of a vessel for transport with demonstrations of models of tanks and type settings with specific aspects of transportation. It addresses the peculiarities of the materials for the construction of the vessel and mechanisms of emergence and propagation of fracture in the body structure. A survey on the incidence of abnormalities in tanks carrying hazardous liquids in bulk is presented, suggesting defects and failures, where the interviewees attribute values, and models showing which parts of the tank body are most vulnerable to the incidence of failures. Details of how the FMEA was used to implement solutions to the case, addressing the effect of the abnormalities on the function of storage, transportation and disposal of the product, as well as prevention methods are established to contribute to the eradication of factors causing abnormalities in road tanks.

Key-words: Transport of Dangerous Goods; Road Tanks, Failure Analysis, FMEA

1. Introdução

Segundo a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2006), 96,2% no transporte de passageiros e 61,8% no transporte de cargas seguem pelo modal rodoviário. Em virtude do desenvolvimento econômico da sociedade, o consumo em escala industrial de produtos perigosos possui uma grande demanda conforme dados estatísticos da Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM (2008). A entidade responsável para desenvolver normas para gerar segurança ao transporte é o INMETRO, que elaborou um Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ que qualifica cada produto em grupos com similaridade de princípios físicos, como estado físico em condições de temperatura e pressão, e evaporação pela influência da temperatura ambiente, gerando assim pressão de decomposição ou pressão de vapor, que cria uma pressão interna no reservatório de produto do veículo, tornando necessária uma geometria específica que suporte tais condições.

Os veículos que necessitam transportar produtos perigosos são inspecionados e alguns ensaios são realizados (Figura 1), conforme normas do INMETRO. Caso apresentem irregularidades, esses veículos são corrigidos para poderem continuar a operar com os produtos perigosos, recebendo o Certificado de Inspeção para o Transporte de Produtos Perigosos - CIPP, documento emitido pelo inspetor, após considerar o veículo apto para o transporte.



Figura 1: Ensaio hidrostático em tanque

Um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento do projeto é o estudo de falhas, contemplando a identificação dos seus modos e efeitos e as respectivas soluções técnicas para a sua mitigação ou eliminação. Também empresas que prestam serviços de reparos em tanques rodoviários devem conhecer em detalhes o estudo de falhas para recuperar as funções com sucesso, estabelecendo novo ciclo de vida útil ao equipamento.

Uma pesquisa pode ser considerada um procedimento formal com método de pensamento reflexivo que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais. Toda pesquisa implica o levantamento de dados de várias fontes, quaisquer que sejam os métodos ou técnicas empregadas (LAKATOS, 1992). No desenvolvimento do “Estudo de Falhas em Tanques que Transportam Líquidos Perigosos a Granel” um mecanismo quantitativo é necessário, uma pesquisa de campo foi elaborada para mensurar em que proporções acontecem tais eventos e através de ferramenta

da qualidade abordar os efeitos das anormalidades sobre as funções de armazenamento, transporte e descarregamento do produto e formas de prevenção estabelecidas para que tais eventos sejam mitigados ou eliminados. A pesquisa realizada para este trabalho acadêmico obtém dados de forma direta através de pesquisa de campo utilizando técnica de observação extensiva pelo questionário elaborado. O método utilizado é Indutivo onde o autor propôs através de conhecimentos gerais anormalidades em dispositivos específicos expondo-os para que os participantes apontassem o grau de incidência.

Para a abordagem do “Estudo de Falhas em Tanques Rodoviários que Transportam Líquidos Perigosos a Granel” o FMEA é a ferramenta indicada, por analisar causas e como as anormalidades constatadas afetam os níveis superiores do sistema. O FMEA é um método de análise de projetos, produtos e processos utilizados para identificar todos os possíveis modos potenciais de falhas e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio basicamente dedutivo (HELMAN, 1995). É um método analítico padronizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa. O FMEA é uma ferramenta que busca em princípio desenvolver propostas de ação de melhoria, diminuindo as chances de probabilidade de ocorrência de falhas, buscando aumentar a confiabilidade no produto/processo descritos em planilhas e formulários.

A análise consiste em formar um grupo de pessoas que identificam para o produto/processo as funções, tipos de falhas que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas, que são avaliados por meio de índice, e com base nesta avaliação são tomadas as ações necessárias, alguns documentos são utilizados como listas de peças, desenhos, resultados de ensaios, FMEAs de produtos similares ou correlatos, entre outros.

2. Legislação, Fiscalização e Acidentes

O Decreto Presidencial 96.044/1988 é a Lei Federal que regulamenta a atividade de transporte de produtos perigosos no Brasil e caracteriza produtos perigosos como substâncias que representam riscos para a saúde de pessoas, para a segurança pública e para o meio ambiente. Mencionando que os veículos e equipamentos destinados ao transporte de produtos perigosos, devem seguir os padrões das normas brasileiras, e se, na ausência destas, devem seguir padrões de normas internacionais. O mesmo Decreto identifica o INMETRO como organismo federal que deve legislar e fiscalizar a operacionalização específica do tráfego destes veículos, bem como, a possibilidade deste credenciar empresas para prestar-lhe serviço de inspeção.

O Decreto 96.044/1988 cita o documento “Certificado de Capacitação para o Transporte de Produtos Perigosos a Granel”, que, com a revisão da norma em 2004, através da Portaria INMETRO 196, de 03 de dezembro de 2004 (INMETRO, 2004), passou a chamar-se “Certificado de Inspeção para o Transporte de Produtos Perigosos” (CIPP) como documento de porte obrigatório para o tráfego de veículos carregados ou contaminados com produtos perigosos em vias públicas, bem como institui a Lista de Grupos de Produtos Perigosos que tem a finalidade de aglutinar determinados produtos com suas similaridades físicas para viabilizar seu transporte.

Com a intenção de demonstrar a grande incidência de irregularidades encontradas na fiscalização de tanques rodoviários que transportam produtos líquidos perigosos, dados da atuação do IPPEM do Estado de São Paulo, desde o ano de 2005 (Tabela 1) registram o número de autos de infração expedidos e CIPP apreendidos.

INSPEÇÃO/ REINSPEÇÃO				
INSPEÇÃO PERIÓDICA	2005	2006	2007	2008 (*)
	3907	3199	2052	1290
FISCALIZAÇÃO EM RODOVIAS				
	2005	2006	2007	2008 (*)
Veículos Fiscalizados	2166	2181	3433	3070
Autos de Infração	555	720	1116	1071
Certificados de Inspeção Apreendidos	251	381	640	584
Fiscalizações Realizadas	82	91	146	127

Fonte: Departamento de Metrologia e Qualidade
(*) Até agosto de 2008

Fonte: IPEM/SP (2008)

Tabela 1 - Dados de inspeção e fiscalização do IPEM-SP em rodovias

Para justificar fatos ocorridos, segundo perspectiva do governo do Estado de São Paulo, foram verificados nos registros de ocorrências da Polícia Rodoviária Estadual, um total de 1.563 acidentes durante o transporte de produtos perigosos, no período de 1997 a 1999 (Tabela 2). Através da identificação dos produtos, percebe-se que a incidência de acidentes com tanques rodoviários que transportam produtos líquidos perigosos é superior a 57%.

CLASSE DE PRODUTO TRANSPORTADO	%
TOTAL	100,00
GASES INFLAMÁVEIS	8,32
GASES COMPRIMIDOS NÃO TÓXICOS E NÃO INFLAMÁVEIS	1,66
GASES TÓXICOS POR INALAÇÃO	1,92
LÍQUIDOS INFALMÁVEIS	57,01
SÓLIDOS INFLAMÁVEIS	0,64
SUBSTÂNCIAS PASSÍVEIS DE COMBUSTÃO ESPONTÂNEA	0,13
SUBSTÂNCIAS QUE, EM CONTATO COM A ÁGUA, EMITEM GASES INFLAMÁVEIS	0,13
SUBSTÂNCIAS OXIDANTES	0,58
SUBSTÂNCIAS TÓXICAS	1,15
SUBSTÂNCIAS CORROSIVAS	11,71
SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DIVERSAS	2,82
IGNORADO	13,95

Fonte: Fundação Seade

Tabela 2 – Acidentes com veículos que transportam produtos perigosos

3. Falhas em Tanques e Identificação

Todas as disfunções em tanques que transportam líquidos perigosos a granel podem ser provenientes de defeitos ou falhas nos dispositivos que o compõem, podendo ser definida como anormalidade na condição operacional do sistema, composto da condição de armazenar, transportar e descarregar líquidos perigosos. Tanque de carga compreende o reservatório do veículo onde é alocado o produto na fase líquida a ser transportado (INMETRO, 1993).

Compõe o tanque de carga as paredes do vaso, também denominado costado, os tampos dianteiro e traseiro, o fundo se o tanque for policêntrico, o cofre de expansão, se possuir, quebra-ondas/divisórias e seus reforços, tubulação e válvulas de carga/descarga, válvula de

alívio, tampa da boca-de-visita, boca de visita, anéis de reforço, berços de apoio, chassi do vaso e travessas, sistema de aquecimento e revestimento térmico (Figuras 2 e 3).



Figura 2 - Semirreboque tanque policêntrico construído em aço carbono
Fonte: RANDON (2008)



Figura 3 - Semirreboque tanque cilíndrico em aço inoxidável
Fonte: RANDON (2008)

A falha de materiais é quase sempre um evento indesejável, embora a causa da falha e o comportamento do material possam ser conhecidos, a prevenção é uma condição difícil de ser garantida. As causas usuais são a seleção e o processamento dos materiais de uma maneira não apropriada. Falhas em aços são geradas por defeitos metalográficos, que ocasionam trincas, estas trincas se propagam gerando fraturas (CALLISTER, 2000). A fratura simples consiste na separação de um corpo em dois ou mais pedaços em resposta a uma tensão imposta, qualquer processo de fratura envolve duas etapas, a formação e a propagação de trincas, em resposta a imposição de uma tensão. A fratura tem seu início quando a resistência teórica a coesão é exercida na extremidade de um defeito.

No processo de comercialização de bens e serviços segundo Helman (1995), é utilizada a instituição da garantia durante um período de tempo onde o fornecedor ou fabricante compromete-se em consertar ou substituir o produto que apresentar falha sem ônus para o

cliente. Embora este compromisso represente tranqüilidade para o cliente, o fato de não dispor do produto durante o período de conserto ou de ficar sem ele com alguma freqüência, representa um motivo de insatisfação e/ou prejuízo financeiro. O produto poder ser utilizado em lugares remotos ou em condições muito críticas onde a garantia pode ter uma relevância secundária, causando transtornos e/ou perdas incomensurável. Por estes e outros motivos é desejável colocar no mercado produtos ou serviços que apresentem baixa taxa de falhas, onde ferramentas de qualidade ou análise de falhas são adotadas, apresentado excelentes resultados.

4. Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo realizada conforme padrão estabelecido foi divulgada em entrevista direta e via correio eletrônico por 3 (três) meses para 65 (sessenta e cinco) pessoas de 26 (vinte e seis) empresas e obteve 9 (nove) respostas com a opinião de incidência dos defeitos expostos em 20 (vinte) partes do corpo do tanque incluindo duas configurações de chassi, monobloco e auto-portante, subdivididos em 98 (noventa e oito) anormalidades.

Nas partes de composição da estrutura do tanque foram apontadas algumas anormalidades. O indivíduo entrevistado de cada empresa indica o nível de incidência com valores de 1 a 5 (um a cinco), o valor 1 (um) representa nenhuma incidência de anormalidade, o valor 2 (dois) representa pouca incidência de anormalidade, o valor 3 (três) representa moderada incidência de anormalidade, o valor 4 (quatro) representa grande incidência de anormalidade e o valor 5 (cinco) representa severa incidência de anormalidade.

Em uma planilha do programa Excel da Microsoft parcialmente mostrada (Figura 4) estão listados os tipos de veículos dentre as composições de transporte do tanque, a citar: caminhão, semi-reboque e semi-reboque combinado, subdivididos dentre os vários materiais de composição do corpo do vaso a citar: aço carbono, aço inoxidável e alumínio, podendo ou não estar equipado com isolamento térmico e sistema de aquecimento. Nas colunas posteriores frontais de forma a haver cruzamento entre os dados são assinalados os níveis prováveis de anormalidades.

		COSTADO					TAMPOS				
		OXIDAÇÃO EXTERNA	CORROSÃO INTERNA	TRINCAS	FUROS	MOSSAS (AMASSAMENTOS)	OXIDAÇÃO EXTERNA	CORROSÃO INTERNA	TRINCAS	FUROS	
1	M) AÇO CARBONO	2,6	3,4	2,3	2,8	3,0	2,5	2,9	2,4	2,6	
2	N) AÇO INOXIDÁVEL	1,0	1,0	2,3	2,3	2,4	1,0	1,0	2,0	1,9	
3	O) ALUMÍNIO	1,0	1,0	2,3	2,6	2,1	1,0	1,0	2,7	2,3	
4	M) AÇO CARBONO	3,8	3,1	3,0	2,9	2,4	2,3	2,1	2,4	2,4	
5	M) AÇO CARBONO	2,6	2,5	2,1	2,9	2,3	2,8	2,9	2,5	2,4	
6	N) AÇO INOXIDÁVEL	1,0	1,0	1,6	1,9	1,9	1,0	1,0	2,0	2,1	
7	O) ALUMÍNIO	1,0	1,0	2,4	2,3	2,0	1,0	1,0	2,3	2,3	
8	M) AÇO CARBONO	3,0	2,9	2,5	2,6	3,1	2,8	3,1	2,1	2,4	
9	N) AÇO INOXIDÁVEL	1,0	1,0	2,8	2,0	2,0	1,0	1,0	1,9	1,7	
10	M) AÇO CARBONO	2,5	2,6	1,9	1,9	2,1	2,3	2,4	1,5	2,6	
11	M) AÇO CARBONO	2,6	2,6	2,1	2,5	2,8	2,6	2,5	2,0	2,9	
12	N) AÇO INOXIDÁVEL	1,0	1,0	2,3	2,0	2,8	1,0	1,0	2,1	2,5	
13	O) ALUMÍNIO	1,0	1,0	2,3	1,7	3,1	1,0	1,0	2,1	2,4	
14	M) AÇO CARBONO	3,0	2,8	2,4	2,5	3,1	2,8	3,5	2,8	2,6	

Figura 4 - Planilha da Pesquisa de campo

São 28 (vinte e oito) tipos de tanque e 98 (noventa e oito) anormalidades citadas perfazendo 2.744 (dois mil setecentos e quarenta e quatro) anormalidades a serem analisadas. Cada indivíduo pesquisado gerou uma planilha de dados com valores dos níveis estipulados para as anormalidades conforme seu ponto de vista, estas planilhas foram alocadas lado a lado em um arquivo do Microsoft Excel onde foi criada uma pasta chamada Quadro Estatístico que reúne a média de todas as planilhas de dados gerando valores para confecção de quadros analíticos e gráficos. Outras planilhas estatísticas foram desenvolvidas a partir desta, alinhando informações, identificando qual a composição ou anormalidade apresenta-se mais incidente em cada caso específico.

5. Aplicação do FMEA

O FMEA é uma ferramenta que busca em princípio desenvolver propostas de ação de melhoria, diminuindo as chances de probabilidade de ocorrência de falhas, buscando aumentar a confiabilidade no produto/processo descritos em planilhas e formulários.

Numa planilha de controle (Anexo) constam as informações como identificação da falha, dados de posicionamento da falha no sistema, as possíveis causas, efeitos ocasionados pela falha, índices de graduação com relação ao grau de risco gerado, índices de tomada de decisão e formas de prevenção entre outras informações relevantes. No caso de Estudo de Falhas em Tanques Rodoviários que Transportam Líquidos Perigosos a Granel o objeto analisado trata-se de um produto, o tanque, as 20 (vinte) anormalidades mais indicadas na pesquisa de campo podem ser utilizadas para a implementação do método FMEA como tipo de falhas observadas.

Na planilha para o FMEA aplicado ao caso apresentado, as anormalidades (defeitos ou falhas) são listadas na primeira coluna, na segunda coluna é evidenciada a parte do tanque em que se encontra a anormalidade, na terceira coluna é evidenciado o efeito que a anormalidade causa sobre o sistema, na quarta coluna é evidenciado o grau de risco que a anormalidade gera para o sistema que seguem cinco padrões estipulados, sendo considerado pouca quando a anormalidade é um defeito que gera um grau de risco remoto de falha do sistema com vazamento do produto, a anormalidade é considerada moderada quando é um defeito que gera um grau de risco mediano de falha do sistema com vazamento do produto, a anormalidade é considerada grande quando é um defeito que gera um grande risco de falha do sistema com vazamento do produto, a anormalidade é considerada severa quando é um defeito que gera risco eminente de falha do sistema com vazamento do produto, na quinta coluna é evidenciado o método de prevenção da anormalidade.

5. Evidências de Falhas em Tanques

O resultado da pesquisa de campo é demonstrado em tabelas e gráficos (Figura 5) que mostram o nível de anormalidades por parte do tanque com o objetivo de identificar os pontos de maior incidência de anormalidades em tanque rodoviários que transportam líquidos perigosos a granel.

NÍVEL DE ANORMALIDADES POR PARTE DO TANQUE

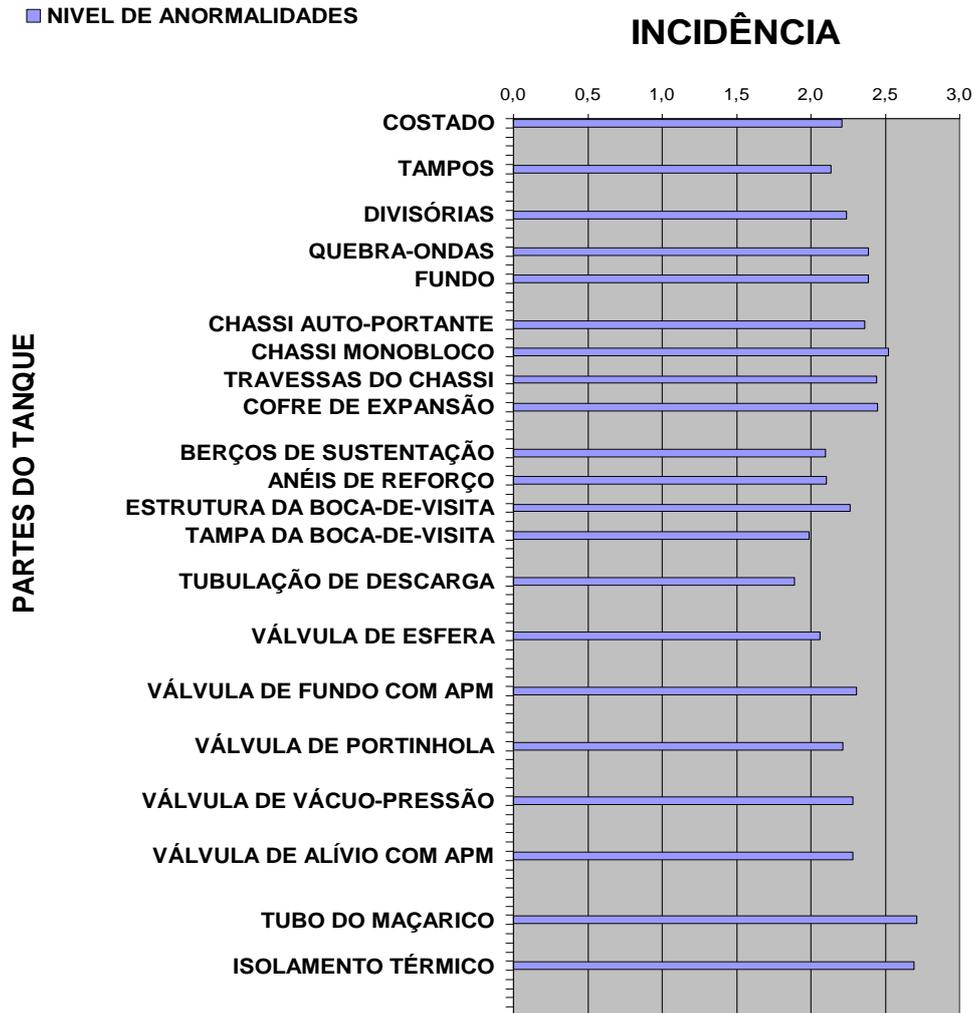


Figura 5 - Nível de anormalidades por parte do tanque

Os quebra-ondas e os berços de sustentação do tanque são colocados exatamente sobre os suportes da suspensão do veículo para reforçar a estrutura, observou-se que os quebra-ondas situados nestas posições e o costado nessa região apresentam fraturas (Figura 6).

É concebível supor que estes pontos devam possuir tal rigidez, porém faz-se necessário haver algum grau de liberdade para que parte da energia seja dissipada pela estrutura, evitando o dano, o autor deste trabalho sugere aos fabricantes deslocar berço de sustentação e quebra-ondas para um ponto de equilíbrio de forma a não mais receber os impactos diretos da suspensão, deixando que o corpo do vaso realize parte destes movimentos, como uma mola, devido à capacidade de resiliência do material que o compõem.

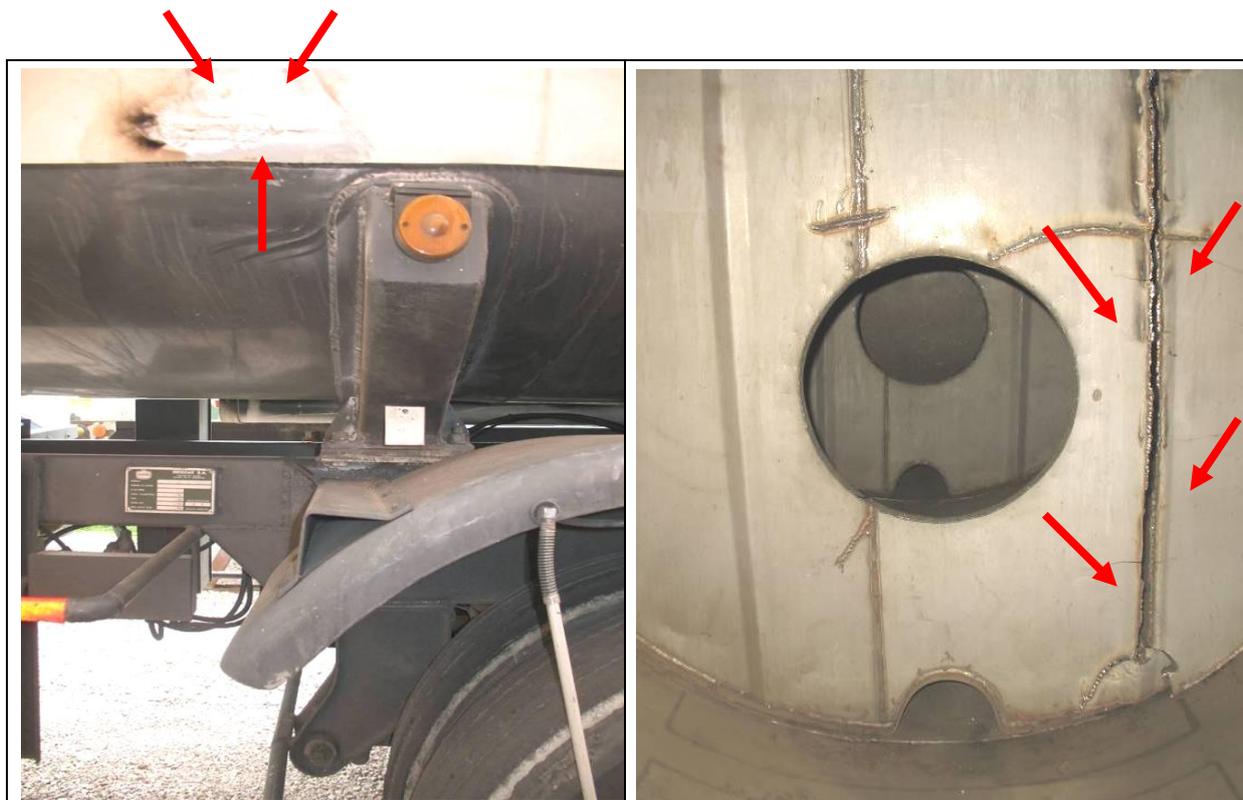


Figura 6 – Falha no costado do tanque e fratura em quebra-ondas

A aplicação das teorias das cascas e chapas planas apresentada na obra de Timoshenko (1959) e da análise de vibrações de Groehs (2001) pode demonstrar resultados positivos. As marcas no costado abaixo da fratura são da fixação do chassi que fica sobre ponto da suspensão do veículo, a concentração de impactos provavelmente iniciou o mecanismo que gerou a falha do dispositivo.

5. Conclusão

Existe uma demanda ascendente por produtos químicos conforme dados estatísticos da ABQUIM, e conforme os dados do IPEM (Tabela 1), com relação às fiscalizações, houve um crescimento na emissão dos autos de infração e apreensão de CIPP, concluindo que o aumento na demanda do transporte influencia o crescimento de anormalidades nos veículos. Pela grande quantidade de veículos autuados, há deficiência na qualidade de transporte de produtos líquidos perigosos a granel.

Entre as 20 (vinte) anormalidades com maior média, na pesquisa, 18 (dezoito) estão classificadas no grau de risco “grande” ou “severa” (Anexo) evidenciando que o risco de falha com vazamento do produto é elevado. Nessa condição, para cumprir os requisitos de eliminação e mitigação da incidência de anormalidades, é necessário o desenvolvimento de sistemas de contenção, englobando atividades de manutenção, inspeção e fiscalização mais eficazes por parte dos organismos envolvidos.

O FMEA é uma ferramenta muito útil e de grande importância para o desenvolvimento do “Estudo de Falhas em Tanques que Transportam Líquidos Perigosos a Granel”, evidenciando

a anormalidade, localizando-a na estrutura, enfatizando o efeito sobre o sistema, classificando o grau de risco gerado e propondo medidas para sua prevenção.

O ponto preponderante do Estudo de Falhas em Tanques que Transportam Líquidos Perigosos a Granel é a base de dados gerada para referência de futuros trabalhos de áreas correlatas.

O Estudo de Falhas em Tanques Rodoviários que Transportam Líquidos Perigosos a Granel é uma contribuição para o setor de transporte de produtos perigosos, indicando a necessidade de propostas para solução dos problemas aqui apresentados. Também conta com a determinação das pessoas que buscam transpor as várias dificuldades naturais, e prima pelo bom senso coletivo.

Referências

ABIQUIM. *Demanda de consumo de produtos químicos.* Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain&pag=estat>>. Acesso em: 02 ago. 2008.

BRASIL. *Decreto Nº. 96.044, de 18 de maio de 1988. Aprova o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos.* Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 16 maio 2008.

CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais.* 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CNT. *Predominância do modal rodoviário.* Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas/atlas/2006/rodoviaria.asp>> Acesso em: 02 ago. 2008.

FUNDAÇÃO SEADE. *Acidente com motoristas no transporte de produtos perigosos.* São Paulo. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v17n2/a08v17n2.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2008.

GROEHS, Ademar G. *Mecânica Vibratória.* 2. ed. São Leopoldo: Unisinos, 2001.

HELMAN, H. *Análise de falhas (aplicação dos métodos de FMEA E FTA).* Belo Horizonte: UFMG, 1995.

INMETRO. *Portaria 196/2004 Lista de Grupos de Produtos Perigosos.* Disponível em: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2008.

INMETRO. *Portaria 197/2004 RTQ 7c - Inspeção na construção de equipamentos para o transporte rodoviário de produtos perigosos a granel - líquidos com pressão de vapor até 175 kPa.* Disponível: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2008.

INMETRO. *Portaria 59/93 Regulamento Técnico Metrológico.* Disponível em: <www.inmetro.gov.br>. Acesso em: 15 maio 2008.

IPEM/SP. *Dados sobre a inspeção dos veículos e da fiscalização em rodovias.* São Paulo. Disponível em: <<http://www.ipem.sp.gov.br/7srv/descon.asp?vpro=5>>. Acesso em: 11 out. 2008.

LAKATOS, Eva Maria. *Metodologia do Trabalho Científico.* 4. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

TIMOSHENKO, S. P. *Theory of plates and shells.* 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1959.

ANEXO

FMEA DE PRODUTO				
PRODUTO ANALISADO: PARTES DE TANQUES QUE TRANSPORTAM PRODUTOS LÍQUIDOS PERIGOSOS				
PARTE AFETADA	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	GRAU DE RISCO	MÉTODO DE PREVENÇÃO
SISTEMA DE AQUECIMENTO (3.4.16)	CORROSÃO EM TUBO DO MAÇARICO	RISCO DE VAZAMENTO DO PRODUTO	GRANDE	MEDIÇÃO DE ESPESSURA
ISOLAMENTO TÉRMICO (3.4.17)	AMASSAMENTO EM ISOLAMENTO TÉRMICO	PERDA DA EFICIÊNCIA DO ISOLAMENTO	MODERADO	ANÁLISAR SE HÁ PONTOS FRÁGEIS NA FIXAÇÃO
ISOLAMENTO TÉRMICO (3.4.17)	PERDA DE VÁCUO NO ISOLAMENTO TÉRMICO	PERDA DA EFICIÊNCIA DO ISOLAMENTO ACARRETANDO AQUECIMENTO E VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE VÁCUO PERIODICAMENTE
ISOLAMENTO TÉRMICO (3.4.17)	TRINCAS NO ISOLAMENTO TÉRMICO	PERDA DE VÁCUO NO ISOLAMENTO TÉRMICO	GRANDE	MEDIÇÃO DO NÍVEL DE VÁCUO PERIODICAMENTE
QUEBRA-ONDAS (3.4.5)	TRINCA EM QUEBRA-ONDAS	PERDA DA FUNÇÃO ESTRUTURAL	GRANDE	INSPEÇÃO VISUAL PERIÓDICA
SISTEMA DE AQUECIMENTO (3.4.16)	VAZAMENTO NO TUBO DO MAÇARICO	POSSIBILIDADE DE SINISTRO NO CORPO DO VASO	SEVERA	ENSAIO HIDROSTÁTICO E INSPEÇÃO VISUAL PERIÓDICA
SISTEMA DE AQUECIMENTO (3.4.16)	ENTUPIMENTO EM TUBO DO MAÇARICO	POSSIBILIDADE DE SINISTRO NO CORPO DO VASO	SEVERA	ENSAIO HIDROSTÁTICO E INSPEÇÃO VISUAL PERIÓDICA
CHASSI DO VASO (3.4.14)	TRINCA EM CHASSI MONOBLOCO	EXPOSIÇÃO DO COSTADO A FRATURA	GRANDE	INSPEÇÃO VISUAL
VÁLVULA DE ALÍVIO (3.4.9)	EMPERRAMENTO EM VÁLVULA DE VÁCUO-PRESSÃO	VAZAMENTO DO PRODUTO E DEFORMAÇÃO NO COSTADO	SEVERA	INSPEÇÃO PREVENTIVA COM CALIBRAÇÃO PERIÓDICA
FUNDO (3.4.3)	TRINCA EM FUNDO DE TANQUE POLICÊNTRICO	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	INSPEÇÃO VISUAL
COFRE DE EXPANSÃO (3.4.4)	FURO NO CORDÃO DE SOLDA DO COFRE DE EXPANSÃO	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	INSPEÇÃO VISUAL E ENSAIO HIDROSTÁTICO OU PNEUMÁTICO
SISTEMA DE AQUECIMENTO (3.4.16)	FUROS EM TUBO DO MAÇARICO	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	INSPEÇÃO VISUAL PERIÓDICA E ENSAIO HIDROSTÁTICO
TRAVESSA DO CHASSI DO VASO (3.4.15)	CORROSÃO EM TRAVESSA DO CHASSI	FRAGILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO INCORRENDO A POSSIBILIDADE DE FRATURA	GRANDE	INSPEÇÃO VISUAL / MELHORIA NA PROTEÇÃO DAS PARTES METÁLICAS
VÁLVULA DE ALÍVIO (3.4.9)	VEDAÇÃO DEFEITUOSA NA VÁLVULA DE VÁCUO-PRESSÃO	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	INSPEÇÃO PREVENTIVA COM CALIBRAÇÃO PERIÓDICA
COFRE DE EXPANSÃO (3.4.4)	TRINCAS EM COFRE DE EXPANSÃO	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	ENSAIO HIDROSTÁTICO
DIVISÓRIA (3.4.6)	TRINCAS EM DIVISÓRIA	PASSAGEM DE PRODUTO DE UM COMPARTIMENTO PARA O OUTRO	MODERADO	ENSAIO PNEUMÁTICO
CHASSI DO VASO (3.4.14)	TRINCAS EM CHASSI DO TANQUE AUTO-PORTANTE	EXPOSIÇÃO DO COSTADO A FRATURA	GRANDE	INSPEÇÃO VISUAL
BOCA DE VISTA (3.4.10)	DEFORMAÇÕES NA ESTRUTURA DA BOCA DE VISITA	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	INSPEÇÃO DIMENSIONAL PERIÓDICA
VÁLVULA DE CARGA E DESCARGA (3.4.8)	DEFEITO NO ACIONAMENTO DA VÁLVULA DE FUNDO ACIONADA POR MOLA	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	MANUTENÇÃO PREVENTIVA
VÁLVULA DE CARGA E DESCARGA (3.4.8)	VEDAÇÃO DEFEITUOSA EM VÁLVULA PORTINHOLA	VAZAMENTO DO PRODUTO	SEVERA	MANUTENÇÃO PREVENTIVA

FMEA – Análise do Modo e Efeito das Falhas