



PRINCIPIOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO EM PARQUES DE ESFERAS

Arianne Antonucci de Carvalho

Aline Nogueira Costa Siqueira

Projeto Final de Curso

Orientadores

Prof. Carlos André Vaz Júnior

Prof. Joacy Santos Junior

Março de 2012

PRINCIPIOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO EM PARQUES DE ESFERAS

Arianne Antonucci de Carvalho

Aline Nogueira Costa Siqueira

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Eng. Marcela Pereira Alvaro, Eng. Prod.

Prof Raquel Massad Cavalcante . M. Sc.

Eng. Reinaldo Coelho Mirre, M. Sc.

Orientado por:

Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc.

Co-orientador:

Prof. Joacy Santos Junior, Especialista

Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

Março de 2012.

Ficha Catalográfica

De Carvalho, Arianne Antonucci; Siqueira, Aline Nogueira Costa

Princípios Básicos De Manutenção Em Parques De Esferas / Aline Nogueira C Siqueira e Arianne Antonucci de Carvalho. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2012.

x, 100 p.; il. (Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2012. Orientadores : Carlos André Vaz Junior e Joacy Santos Junior

1. Manutenção. 2. Parque de Esferas 3. Segurança de Processos 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). Carlos Andre Vaz Junior e Joacy Santos Junior. I. Título

Citação

"Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes"

(Isaac Newton)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os nossos familiares e amigos, que estiveram presentes e envolvidos com nosso desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional, tornando-o possível.

Nosso respeito, diante da formação que nos foi dada, aos professores da Escola de Química.

Agradecemos aos engenheiros Alexandre Aires Mendes e Carlos Henrique Ramos Rodrigues pela disponibilidade e cortesia. Nosso projeto foi enriquecido quando dividiram seus conhecimentos conosco.

Nossa gratidão aos nossos orientadores, Carlos André e Joacy, pela dedicação e confiança durante a realização deste projeto final.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE MANUTENÇÃO EM PARQUES DE ESFERAS

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Junior, Título

Co-orientador: Prof. Joacy Santos Junior

Em todo o ramo industrial, a atividade de manutenção vem ganhando cada vez mais importância. Essa nova postura inclui uma crescente conscientização de quanto uma falha no equipamento afeta a segurança e o meio ambiente, maior entendimento da relação entre manutenção e qualidade do produto, maior pressão para se conseguir alta disponibilidade e confiabilidade da instalação, ao mesmo tempo em que se procura a redução de custos.

O trabalho visa mostrar a importância da manutenção e dar um embasamento teórico para as tarefas de manutenção, usadas para diminuir as falhas dos sistemas e equipamentos, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos mesmos e diminuindo os custos de operação.

Ao final, para uma melhor compreensão da relevância do tema, aplicam-se os conceitos fundamentais de manutenção e confiabilidade na análise de alguns eventos que ocorrem num parque de esferas genérico para armazenagem de GLP.

SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas
ABRAMAN - Associação brasileira de manutenção
AFF - Análise de falhas funcionais
AICHE – American Institute of Chemical Engineers
ALSC - Alívio de serviços de manutenção
ANP – Agência Nacional de Petróleo
API – *American Petroleum Institute*
AQR – Análise quantitativa de risco
AQRPQ - Análise quantitativa de riscos em processos químicos
ASME – Engineering Standards, News and Resources for Engineers
AWS – American Welding Society
BLEVE – Explosão do vapor expandido pelo líquido em ebulição (*Boiling liquid expanding vapor explosion*)
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CMFT – Custo da manutenção por faturamento
CMVP - Custo da manutenção pelo valor da reposição
CTMN – Custo total da manutenção
DD - Diagrama de decisão
DISP – Disponibilidade
EUA – Estados Unidos da America
EQ – Escola de química
FCC – Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado
FMEA – Análise do método de falha e efeito
FMECA - Análise dos modos de falha, dos efeitos e da criticidade
FTEP – Faturamento total da empresa
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
HAZOP – Hazard and operability studies
HMEX – Horas de serviço executadas
HMPR – Horas de serviços planejadas
HROP – Horas de operação
HTMC – Tempo total de manutenção corretiva
HTMN – Horas totais de Manutenção
HTMP – Tempo total de manutenção preventiva
ISA – Instituto socioambiental
JIPM – *Japan Institute Of Plant Maintenance*
MGS - *Maintenance Steering Groups*
MTE – Ministério do Trabalho e Emprego
NBR - Norma brasileira regulamentadora
NCFM – Não conformidade de manutenção
NMEX – Número de manutenções extraordinárias

NMPR – Número de manutenções programadas
NOIT – Número de itens
NR – Norma reguladora do Ministério do Trabalho
NTIP - Número total de Intervenções preventivas
NTMP – Número total de manutenções preventivas
NTMC – Número total de manutenção corretiva
PEMEX - Petróleos mexicanos
PM – Prevenção da Manutenção
PMTA – Pressão Máxima de Trabalho Admissível
PSV – Válvula de alívio (*Pressure Relief Valve*)
RCM – Manutenção centrada na confiabilidade
REDUC – Refinaria de Duque de Caxias
SCSM - Sobrecarga dos serviços de manutenção
TIMN – Tempos ineficientes de manutenção
TMEF – Tempo médio entre falhas
TMMP - Tempo Médio para intervenções preventivas
TMPF – Tempo médio para Falha
TMPR – Tempo médio para reparo
TPM – Manutenção Produtiva Total
TXFO - Taxa de falha observada
TXRP - Taxa de reparo
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UVCE – Explosão de Nuvem de Vapor Não Confinada
VLRP - Valor de reposição
WTI – *West Texas Intermediate*

ÍNDICE

Capítulo I - INTRODUÇÃO.....	12
1.01 Tema.....	12
1.02 Delimitação	12
1.03 Justificativa	12
1.04 Objetivos.....	13
1.05 Metodologia	13
1.06 Descrição	14
CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.01 Petróleo	16
2.02 GLP	21
2.03 Bleve e Bola de Fogo.....	24
Capítulo III. PARQUE DE ESFERAS.....	29
3.01 Instalação Física	29
3.02 Acidentes Ampliados em Parques de Esferas.....	30
Capítulo IV. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE	36
4.01 A Importância da Manutenção e sua Evolução.....	36
4.02 Conceitos	37
4.03 Políticas de Manutenção	40
4.04 Índices relacionados à manutenção	57
4.05 Ferramentas para o Aumento da Confiabilidade	65
CAPÍTULO V. FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO	69
5.01 Técnicas de diagnóstico para manutenção	69
CAPÍTULO VI. MANUTENÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO.....	84
6.01 Tarefas de manutenção	89
Capítulo VII. CONCLUSÃO.....	96
BIBLIOGRAFIA.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II -1 – Fases do petróleo no Brasil.....	18
Figura II-2 – Fracionamento do petróleo.....	19
Figura II-3 - Dirigível Hindenburg em chamas	22
Figura II-4 – GLP armazenado em cilindro e em botijões.....	23
Figura II-5 – Esquema representando a seqüência de eventos que levam ao BLEVE.	27
Figura III-1 – PSV’s alinhadas para o meio ambiente (à frente) e para a tocha (ao fundo).....	30
Figura IV-1 – Pilares do TPM.....	42
Figura IV-2 - Diagrama de decisão para priorização dos modos de falha	53
Figura IV-3- Diagrama de decisão para seleção de tarefas	54
Figura IV-4 - Representação gráfica dos índices mundiais TMPF, TMEF e o Tmpr.	59
Figura IV-5 - Custo Acumulativo de manutenção pelo Valor do Equipamento.....	61
Figura IV-6 – Típica planilha para elaboração da FMEA	66
Figura V-1 – Utilização de endoscópio para inspeção de equipamento.....	70
Figura V-2 –Boroscópio rígido	71
Figura V-3 – Equipamentos de Vídeo-Endoscopia Industrial.....	71
Figura V-4 – Eixos de vibração	73
Figura V-5 – Equipamento de análise de vibração	74
Figura V-6 – Técnica geral de ensaio de radiografia industrial	75
Figura V-7 – Irradiador gama específico para fontes de selênio-75.....	75
Figura V-8 – Medidos de espessura digital ultrassônico.....	77
Figura V-9 – Equipamento para ensaio de partículas magnéticas MAGNAFLUX (Kit de partícula magnética)	78
Figura V-10 – Execução do ensaio de partícula magnética	79
Figura V-11 - Aplicação de líquido penetrante, com utilização de spray revelador	80
Figura V-12 – Termografia de equipamentos elétricos.....	81
Figura V-13 – Termografia em equipamentos mecânicos	82
Figura V-14 – Termografia em processo	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II-1 – Produtos gerados após do fracionamento do petróleo	20
Tabela II-2 – Exemplos de acidentes de grande dimensão com ocorrência de BLEVE.....	26
Tabela IV-1 - Abordagens da manutenção.....	49
Tabela VI-1 – Passagens da NR -13.....	86

Capítulo I - INTRODUÇÃO

1.01 Tema

Neste estudo serão abordados os conceitos básicos de manutenção e as ferramentas de análise e gerenciamento de riscos, com foco na manutenção de vasos de pressão, mais especificamente na de esferas de estocagem de GLP.

O ponto de partida para a definição das demandas de manutenção das esferas será a Norma Regulamentadora de número 13, do Ministério do Trabalho (NR-13). Trata-se de referência legal no Brasil sobre o assunto. Optou-se por utilizá-la como base ter as demais recomendações como um aditivo às determinações legais. Basicamente, garante-se o atendimento às determinações normativa e, posteriormente, busca-se melhorar a confiabilidade.

Para o atendimento do objetivo deste trabalho, serão necessários conhecimentos multidisciplinares, essenciais para a atuação do engenheiro.

1.02 Delimitação

O trabalho se restringe às tarefas básicas de manutenção, sem detalhar sua execução. Os vasos de pressão considerados neste trabalho serão esferas contendo GLP. Não serão especificados volume nem demais características, sendo o equipamento tratado de forma genérica.

1.03 Justificativa

O tema foi escolhido em função de seu caráter multidisciplinar, possibilitando a busca de informações e conceitos que são importantes no desenvolvimento profissional. As tarefas e conceitos de manutenção e confiabilidade são parte inerente da atuação profissional em indústrias.

1.04 Objetivos

Este estudo tem como objetivo a apresentação das tarefas básicas de manutenção que podem ser aplicadas a uma esfera de armazenamento de GLP e o processo de definição destas. Assim, é possível fornecer uma mínima base teórica para que se possa definir as tarefas de manutenção para este tipo de equipamento, de forma a atender os requisitos legais e melhorar os patamares de disponibilidade e confiabilidade.

1.05 Metodologia

O projeto será desenvolvido principalmente por meio de levantamentos bibliográfico. O documento motivador de todo o estudo será aquele no qual contam as determinações do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) para a segurança em Caldeiras e Vasos, especificamente a NR 13.

Outras referências, como normas técnicas de diversas nacionalidades, serão utilizadas para a obtenção de informações adicionais, com destaque para:

- ABNT
- ASME
- ISA
- AWS

Estas referências são fundamentais para atendimento das determinações das referências do MTE. Com o estudo de acidentes em esferas e outros vasos de pressão, a determinação dos mecanismos de falha e a verificação das consequências destas falhas nestes equipamentos foi possível. Ainda, o entendimento de como a atuação, de maneira bem planejada, de uma equipe de manutenção poderia evitar acidentes com o equipamento ou minimizar a possibilidade de ocorrência dos mesmos, foi melhorado.

1.06 Descrição

A introdução ao projeto é apresentada no Capítulo I, englobando o tema, a delimitação do trabalho, a justificativa da escolha do assunto, os objetivos, a metodologia utilizada e uma breve descrição dos capítulos.

No Capítulo II, são dadas informações gerais sobre os principais assuntos relacionados ao projeto, sendo eles petróleo, GLP e BLEVE.

Devido à delimitação escolhida para o projeto, que trata eventos ocorridos somente em parques de esferas, no Capítulo III é apresentada uma breve descrição de um destes parques, explicitando características gerais ou mais comuns aos existentes atualmente. Ainda, reconhecendo a relevância do estudo de casos de acidentes ampliados para que erros semelhantes aos que levaram ao acontecimento daqueles não se repitam, resumos de três exemplos serão feitos, ressaltando as principais causas e consequências de cada um.

O Capítulo IV apresenta uma introdução à manutenção e à confiabilidade, pontos centrais do projeto. São abordados conceitos e índices a eles relacionados, bem como políticas de manutenção, como a manutenção produtiva total e a manutenção centrada em confiabilidade e ferramentas para o aumento da confiabilidade, como as análises quantitativa de riscos e do método de efeito de falha.

As técnicas para diagnósticos de manutenção são apresentadas no Capítulo V. Nele serão explicadas algumas das mais frequentemente utilizadas em indústrias, sendo explicitadas suas características, aplicações e vantagens.

No Capítulo VI, estuda-se a norma NR-13, citando-se e analisando-se a partes desta relacionadas à manutenção em vasos de pressão. Com base neste estudo e nos diversos conceitos abordados neste projeto, recomendam-se algumas tarefas de manutenção cabíveis a cenários hipotéticos envolvendo falhas que possam favorecer a ocorrência de BLEVE.

No Capítulo VII, tem-se a conclusão, que ratifica a importância do estudo realizado no desenvolvimento das habilidades profissionais dos autores enquanto engenheiros e do conhecimento técnico para a melhor aplicação das tarefas de manutenção e para o aumento da confiabilidade de sistemas.

CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.01 Petróleo

O petróleo é uma substância com características oleosa e inflamável. É, geralmente, menos densa que a água, apresentando cheiro característico e coloração que pode variar entre o castanho claro e o negro.

Durante muito tempo discutiu-se a origem do petróleo. Hoje, sabe-se que ele é composto por moléculas de carbono e hidrogênio, hidrocarbonetos, podendo conter traços de nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e íons metálicos, principalmente níquel e vanádio. Admite-se que a origem orgânica destas moléculas esteja conectada à decomposição dos plânctons - organismos que ficam em suspensão em águas doces ou salgadas, como protozoários, celenterados e outros - pela ação de bactérias e em um ambiente com baixo teor de oxigênio. Ao longo de muitos de anos, os seres decompostos se acumularam no fundo dos mares e dos lagos, sendo encobertos e pressionados pelos movimentos da crosta terrestre.

O petróleo não permanece na rocha que foi gerado. Desloca-se até encontrar um terreno apropriado para se concentrar, as bacias sedimentares, compostas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários. O petróleo acumula-se ali formando jazidas, ocupando os poros rochosos, formando "lagos". O gás natural pode ser encontrado na parte mais superficial e o petróleo e a água, nas mais profundas.

Tem-se notícia da utilização do petróleo desde 4000 a.C., com o aproveitamento de seus afloramentos frequentes no Oriente Médio. Os povos da Mesopotâmia, do Egito, da Pérsia e da Judéia já utilizavam o betume para pavimentação de estradas, aquecimento e iluminação de casas. Os chineses, em 347 a.C., perfuravam poços usando hastes de bambu.

Para os norte-americanos, a data do nascimento da moderna indústria petrolífera é a da descoberta do primeiro poço de petróleo com capacidade produtiva, em 1859, na Pensilvânia, nos Estados Unidos. Ao contrário das escavações de hoje, que

ultrapassam os seis mil metros, o primeiro poço foi encontrado a uma profundidade de vinte e um metros. Atualmente os Estados Unidos são o maior produtor e consumidor mundial.

A primeira sondagem realizada no Brasil aconteceu em São Paulo, entre 1892 e 1896, por Eugênio Ferreira de Camargo, com uma perfuração à profundidade de 488 metros. Do poço, somente água sulfurosa jorrou. A primeira refinaria de petróleo do país foi instalada em 1932, em Uruguaiana. Sob o nome de Refinaria Rio-grandense de Petróleo, utilizava petróleo importado principalmente do Chile. Em 1939, descobriu-se óleo em Lobato, na Bahia.

No período pós Segunda Guerra Mundial, um grande movimento, visando à nacionalização da produção petrolífera, teve início no país. A campanha "*O petróleo é nosso!*", no segundo Governo de Getúlio Vargas, resultou, em 1953, na criação da PETROBRÁS, com o objetivo de monopolizar a exploração do petróleo no Brasil. A Lei 2.004, de 3 de outubro de 1953, garantia o monopólio do petróleo contido no subsolo ao Estado. Muitos poços foram perfurados desde então. Em 1974, descobriu-se indícios de petróleo na Bacia de Campos, confirmados em 1976. Em 2007, foi encontrado petróleo na camada Pré-Sal, constituído por uma bacia que se estende por oitocentos quilômetros, ao longo da costa brasileira. Hoje, a PETROBRÁS é uma das maiores empresas petrolíferas do mundo.

A História do Petróleo no Brasil pode ser dividida em quatro fases, apresentadas na Figura II -1.

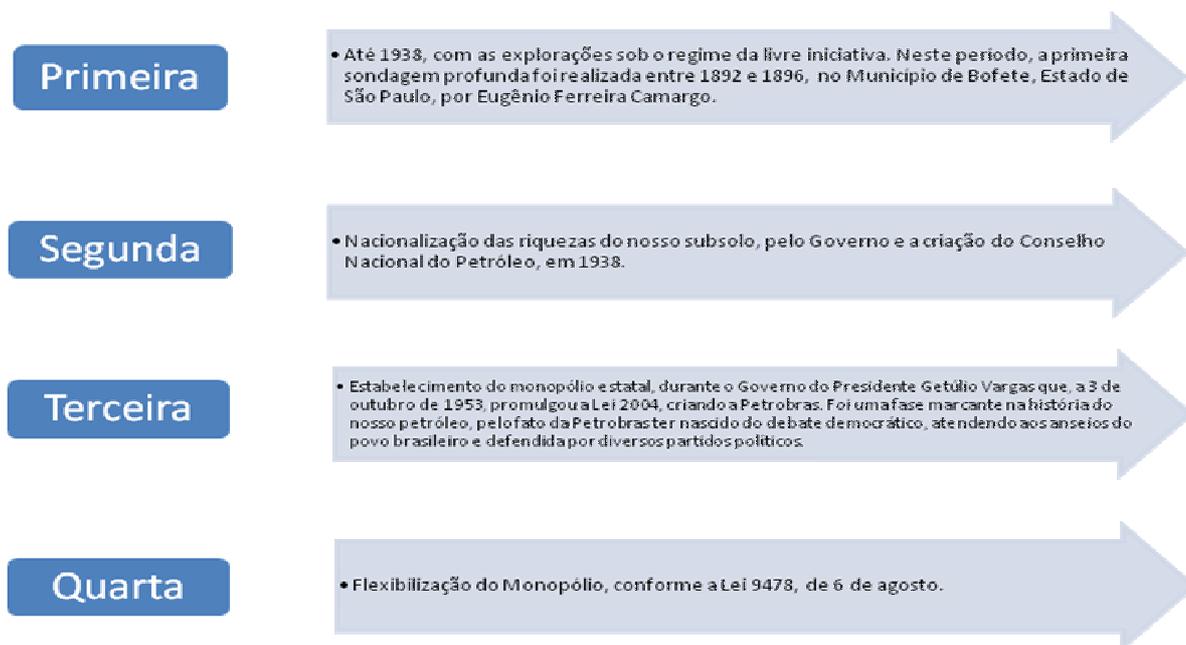


Figura II -1 – Fases do petróleo no Brasil

É possível encontrar diferentes tipos de petróleo, consequência da diversidade de composição dos terrenos da região onde são encontrados. Dentre esses, destacam-se:

Petróleo WTI: é o tipo negociado em Nova York e é referência para os mercados de derivados americanos. A sigla é referente à West Texas Intermediate, sendo este petróleo encontrado na região do West Texas, onde se concentra a exploração de petróleo nos Estados Unidos.

Petróleo Brent: É o petróleo em sua forma bruta, cru, sem passar pelo sistema de refino. É proveniente dos sistemas de exploração petrolífera de Brent e Ninian, sendo produzido na região do Mar do Norte, e serve de referência para os mercados europeus.

Petróleo Light: é o leve, sem impurezas, já tendo passado pelo sistema de refino.

Petróleo Naftênico: é o que apresenta grandes quantidades de hidrocarbonetos naftênicos.

Petróleo Parafínico: é o que apresenta alta concentração de hidrocarbonetos parafínicos.

Petróleo Misto: é uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, com propriedades intermediárias.

Petróleo Aromático: é o que apresenta mais alta concentração de hidrocarbonetos aromáticos. Sendo um tipo bastante raro de petróleo, é responsável por uma gasolina de excelente qualidade, tendo altos níveis de octanagem. Não é usado para a produção de lubrificantes.

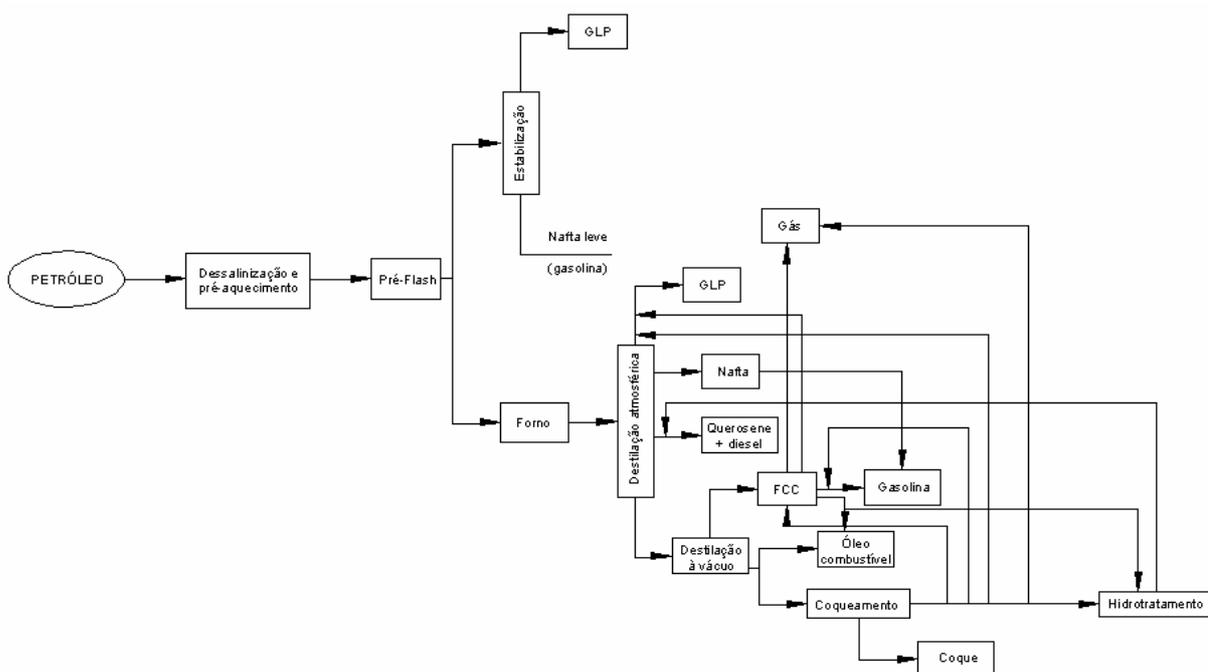


Figura II-2 – Fracionamento do petróleo

(Fonte: ANP - modificado)

Existem diversos esquemas de produção de petróleo. O mostrado acima apresenta características flexíveis e modernas. A inserção do processo de hidrotreatamento de frações médias geradas no coqueamento tem, como consequência, o aumento da produção de óleo de melhor qualidade. Parte da carga que seria enviada ao craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC) é desviada para o hidrotreatamento, havendo maior equilíbrio entre a oferta de gasolina e a de óleo diesel na refinaria, já que mais óleo diesel e menos gasolina serão gerados.

Pela Figura II-2, pode-se observar que há a separação do petróleo em diversas frações em uma unidade de destilação. Separando-as frações de acordo com suas distintas faixas de destilação, obtém-se a Tabela II-1.

Tabela II-1 – Produtos gerados após do fracionamento do petróleo

Fração	Faixa de Destilação (°C)	Principais Produtos Comerciais
Gás Liquefeito de Petróleo	-44 a 0	GLP
Nafta Leve Atmosférica	32 a 90	Gasolina
Nafta Pesada Atmosférica	90 a 190	Gasolina
Querosene	10 a 270	Querosene de Aviação, Diesel
Gasóleo Leve Atmosférico	270 a 320	Óleo Diesel
Gasóleo Pesado Atmosférico	320 a 390	Lubrificantes
Gasóleo Leve de Vácuo	390 a 440	Carga de FCC
Resíduo de Vácuo	440 a 600	Carga de FCC
Gasóleo Pesado de Vácuo	Acima de 600	Lubrificantes, Asfalto, Óleo Combustível

2.02 GLP

O Gás Liquefeito de Petróleo, abreviado por GLP, é um conjunto de hidrocarbonetos – propano, propeno, butano ou buteno – que podem se apresentar puros ou em misturas (entre eles ou com pequenas frações de outros hidrocarbonetos). Segundo a ULTRAGAZ, tem-se um GLP mais rico, com maior pressão e menor peso, quando a razão entre o propano e o butano for alta. Se esta razão for baixa, tem-se um GLP mais pobre, com menor pressão e maior peso. Sua densidade média é de 0,522 g/cm³, sendo mais pesado do que o ar atmosférico.

Os gases advindos do refino do petróleo eram descartados até o início do século XX. Em 1910, nos Estados Unidos, Andrew Kerr desenvolveu um processo visando a recuperação destes. Ele os coletou, comprimindo-os e armazenando-os em pequenos tanques. Dois anos depois, Walter Snelling desenhou um sistema pressurizado, com o objetivo de liquefazer os gases. Esse sistema possibilitou a primeira instalação doméstica feita em Waterford, na Pensilvânia, com o aproveitamento do GLP para a cocção e iluminação.

Diante da briga judicial entre duas empresas americanas pela patente da tecnologia do GLP durante a década de 1920, o início de sua comercialização foi lento. No final dos anos 20, com a utilização do gás como combustível para dirigíveis, principiou-se seu uso em escala internacional. Os dirigíveis faziam serviços rotineiros de vôos entre países distantes e era necessário que os países que fizessem parte de rotas internacionais armazenassem o gás em cilindros, de forma que o reabastecimento das aeronaves pudesse ser realizado.

Em 3 de maio de 1937, nos EUA, um acidente envolvendo o dirigível Hindenburg incentivou o fim deste tipo de viagem pelo mundo.



Figura II-3 - Dirigível Hindenburg em chamas

(Fonte: BAPTISTA, M. T. F, 2010)

A causa do acidente nunca foi determinada, embora se acredite que a celulose inflamável que protegia o dirigível da luz solar e da umidade tenha sido a responsável pelo início da combustão que destruiu a aeronave e causou a morte de trinta e seis pessoas.

Os estoques de gás, espalhados por diversos países, foram descartados após o fim das viagens, com exceção dos existentes no Brasil. Chamado no país de gás de cozinha por sua larga utilização em cocção, o GLP apresenta, devido à facilidade de seu armazenamento e de seu transporte em botijões, cilindros ou tanques, grande aplicabilidade como combustível.

No Brasil, a maior parte do GLP é proveniente do refino do petróleo cru. A primeira etapa deste processo é a destilação atmosférica, na qual o petróleo é aquecido e fracionado em uma torre de destilação. Desta são extraídos, segundo ordem crescente de densidade, gases combustíveis, GLP, gasolina, nafta, solventes, querosene, óleo diesel e resíduo atmosférico, um óleo pesado que pode ser extraído pelo fundo da torre.

Este resíduo é enviado, após reaquecimento, a uma segunda torre, onde ocorre fracionamento a uma pressão abaixo da atmosférica. São recuperados óleo diesel e um

produto denominado genericamente de gasóleo, usado como matéria prima em uma segunda etapa do processo de refino, o craqueamento catalítico fluido. Altas temperaturas e catalisadores químicos são utilizados, de forma a possibilitar a transformação do gasóleo em gases combustíveis, GLP, gasolina e outros produtos. Por este método é produzido a maior parte de GLP nas refinarias brasileiras. Segue-se o tratamento, para remoção de enxofre e a compressão dos gases. A parte liquefeita à temperatura ambiente, armazenada em esferas ou tanques, é chamada de GLP.

Outro método utilizado para a produção do GLP é o processamento do Gás Natural úmido nas Unidades de Processamento.

Sendo um produto inodoro, porém asfixiante e inflamável, a resolução ANP 18/2004, Artigo 6º, define que um composto a base de enxofre deve ser adicionado ao GLP, de forma a possibilitar a detecção de possíveis vazamentos e de evitar acidentes.

Após a produção do GLP, este é enviado, por caminhões e gasodutos, às companhias distribuidoras de gás, responsáveis pelo seu engarrafamento em diversos tipos de embalagens, conforme pode ser verificado na Figura II-4. Dali o GLP segue para as revendedoras ou para o consumidor final.



Figura II-4 – GLP armazenado em cilindro e em botijões.

(Fonte: BRGAS Distribuidora)

Embora a maior parte do GLP seja utilizado para fins residenciais, principalmente como combustível de fogões, alguns outros usos podem ser citados:

- Para aquecimento de shoppings centers, bares, hotéis e restaurantes;
- Em aplicações têxteis;
- Nas indústrias naval, de vidro, de papel e celulose, cerâmica, de alimentos, de bebidas, dentre outras;
- Em matadouros;
- Em avicultura;
- Na desinfecção e higienização a fogo de estabelecimentos;
- Na horticultura, para o aquecimento de estufas.

2.03 Bleve e Bola de Fogo

É um fenômeno físico, sendo um caso específico de ruptura catastrófica de um vaso de pressão. Quando há um aquecimento repentino de uma grande massa de líquido confinado a uma temperatura superior ao seu ponto de ebulição à pressão atmosférica – superaquecido - ou de um gás liquefeito, ocorre um súbito aumento da pressão no interior do vaso, com conseqüente abertura da válvula de alívio e liberação de parte dessa massa. Com a repetição desse processo, a massa confinada vai se reduzindo, até não ser mais suficiente para conter o abrupto aumento de temperatura. Há, então, a vaporização repentina de uma fração do líquido no interior do vaso, com formação de uma nuvem de vapor e de gotículas, que podem ocupar até duzentas vezes o volume inicial. Isto é suficiente para gerar um grande deslocamento do ar a alta velocidade, ou ondas de pressão, rompendo o equipamento e gerando fragmentos. Na seqüência, se houver uma fonte de ignição, pode ocorrer uma explosão do vapor expandido pelo líquido em ebulição ou *boiling liquid expanding vapor explosion*, o BLEVE.

Pela definição de BLEVE, percebe-se que existe a possibilidade de tal evento ocorrer com qualquer substância, sendo ela inflamável ou não. Caso a mesma seja inflamável, sua queima, quando na presença de uma fonte de ignição, é possível, havendo a formação de uma bola de fogo ("fireball"). De acordo com Edson Haddad, Gerente da Divisão de Gerenciamento de Riscos da CETESB, durante a formação da bola haverá emissão de radiação térmica com alcance entre 300 e 400 metros de diâmetro e duração de até sessenta segundos, podendo afetar pessoas e estruturas inseridas nesta área. Dessa forma, pode-se caracterizar o evento como sendo um grande iniciador do efeito cascata.

Dentre as inúmeras causas que podem levar a um BLEVE, destacam-se:

- Indução térmica;
- Danos mecânicos;
- Superenchimento;
- Reações descontroladas;
- Superaquecimento;
- Falha estrutural.

Historicamente, a maioria dos BLEVEs envolve produtos inflamáveis e a causa mais frequente é uma chama externa na casca do vaso de pressão, acima do nível do líquido. Isto provoca um aumento na temperatura do equipamento, enfraquecendo o recipiente e levando à ruptura repentina do mesmo. Uma relação de acidentes de grande dimensões com BLEVE é apresentada na Tabela II-2.

Muito embora seja frequente a presença de válvulas de alívio, estas não protegem contra este tipo específico de cenário, que comumente ocorre a uma pressão abaixo do set do sistema de alívio, não sendo, assim, suficiente para a abertura da válvula.

A sequência de eventos que ocorrem em um acidente, ainda que varie em seus detalhes dependendo de situações específicas em que acontecem cada um, pode ser explicitada de forma geral. Tais eventos estão resumidos na Figura II-5.

Tabela II-2 – Exemplos de acidentes de grande dimensão com ocorrência de BLEVE.

Local	Causa	Produto	Quant. (ton)	Nº de Vítimas Fatais	Data
Zarneste, Romênia	Superenchimento	Cloro	10	60	24/12/1939
Ludwegghafen, Alemanha	Superenchimento	Éter Etilico	33	209	28/7/1948
Lieve, França	Mecânica	Amônia	20	5	21/8/1968
Houston, Texas	Fogo (descarrilamento)	Cloreto de Vinila	50	1	19/10/1971
Rio de Janeiro, Brasil	Fogo	Propano	1000	37	30/3/1972
Santo Antônio, Texas	Corrosão	Dióxido de Carbono	0.01	0	27/11/1972
San Carlos de la Rapita, Espanha	Superenchimento	Propileno	25	211	11/7/1978
Spencer, Oklahoma	Superenchimento	Água	0.3	7	10/1/1982
Reserve, Los Angeles	Reação Descontrolada	Clorobutadieno	1	3	12/7/1983
Mexico City, México	Fogo	Propano	3000	500	19/11/184
Kennedy Space Center, Flórida	Fogo	Hidrogênio	115	7	28/1/1986

Tendo ocorrido o acidente, não combater o incêndio é a ação mais acertada em muitos casos. Segundo Edson Haddad, a recomendação é promover o isolamento da

área e a evacuação de pessoas em um raio sugerido de pelo menos um quilômetro para acidentes em vasos de pressão de vinte toneladas contendo gás liquefeito pressurizado, até que se tenha certeza de que é segura a aproximação da equipe habilitada a realizar o combate ao incêndio.

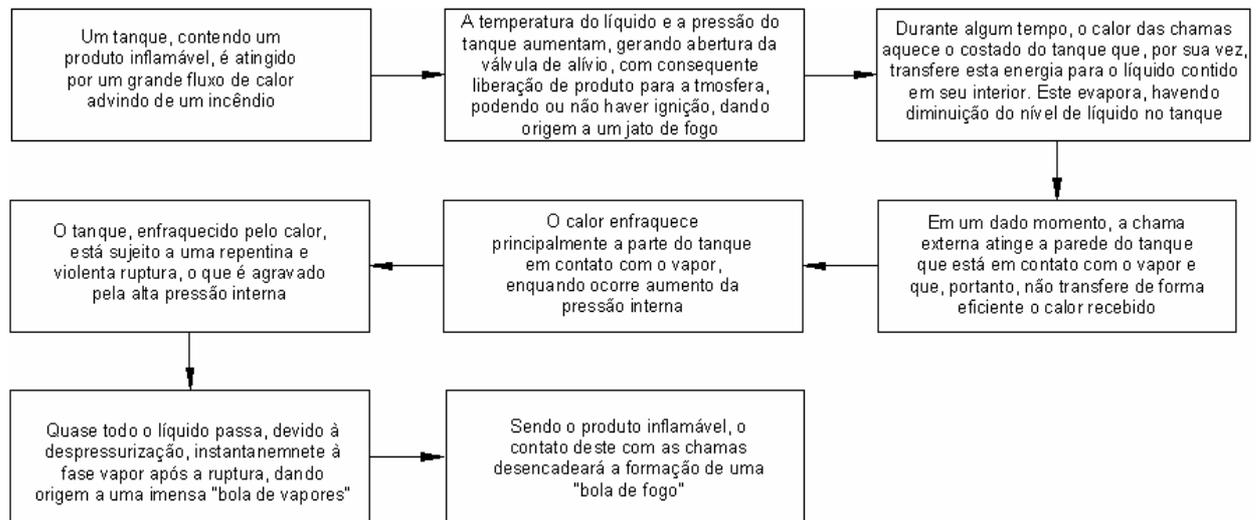


Figura II-5 – Esquema representando a seqüência de eventos que levam ao BLEVE.

Com a finalidade de se prevenir o BLEVE em tanques fixos, tendo como base o estudo de acidentes ocorridos, algumas normas e procedimentos foram definidos. Algumas das modificações que se destacam são listadas abaixo.

- De forma a impedir o acúmulo de produto nas imediações e drenar para uma área segura qualquer produto derramado, determinou-se a construção de piso inclinado (não menos que 1% - 1 cm/m) sob tanques ou esferas.
- Existência de redundância de válvula de alívio de pressão, com o objetivo de garantir que a pressão interna não atinja níveis críticos.
- Posicionamento das válvulas de alívio para cima (perpendiculares ao solo), reduzindo o fluxo térmico do jato de fogo sobre o próprio tanque ou esfera.

- Utilização de um sistema de despressurização, de forma que a pressão interna seja reduzida a 7 bar ou à metade da pressão de projeto dentro de quinze minutos.
- Utilização de sistema de resfriamento dos recipientes expostos ao fogo a uma taxa de 10 L/min/m² ou mais.
- Minimização do número de conexões.
- Realização de operações de carga e descarga pela parte superior do tanque ou esfera.

Capítulo III. PARQUE DE ESFERAS

3.01 Instalação Física

As esferas que constituem um parque são vasos de pressão, dentro dos quais está confinado o GLP, uma mistura contendo aproximadamente 40% de butano e 60% de propano, a uma pressão de 9 Kgf/cm² (g). As fases líquida, composta pela água e pelo GLP, e gasosa, composta pelo GLP, coexistem no interior de cada esfera. Durante todos os processos, produtos com vapor de água são extraídos. No entanto, um resíduo de água chega às esferas e condensa, ocupando, por ser mais pesada do que o GLP (densidade relativa em torno de 0,5-0,6), o fundo desta. A fase líquida do GLP é composta principalmente por butano, enquanto a gasosa é rica em etano, eteno e propano.

Nas esferas, os produtos líquidos entram e saem pelo mesmo orifício. Durante o enchimento, o gás que ocupava o espaço é expulso, havendo saída deste pelo topo da esfera. O oposto acontece durante o esvaziamento, quando gás é injetado pelo topo, expulsando o líquido.

Compondo o esquema de seguranças das esferas, tem-se três válvulas de alívio (PSVs), uma alinhada com o sistema de tochas e as outras duas alinhadas para o meio ambiente, como pode ser visto na Figura III-1. Estas são chamadas de válvulas de alívio para incêndio e especificadas na norma API 520. Quando a esfera está em chamas, gerando uma elevação da pressão, as válvulas devem abrir para que o gás possa sair. Seu set de abertura é de 19 Kgf/cm² (g).



Figura III-1 – PSV's alinhadas para o meio ambiente (à frente) e para a tocha (ao fundo)

(Fonte: acervo pessoal)

A válvula alinhada para o sistema de tochas abre no caso de um sobreenchimento, que pode ser decorrente de uma falha no controle de nível, por exemplo. O set destas é de 17 Kgf/cm² (g), mesma pressão de shut off da bomba, quando a vazão que passa pela bomba é igual a zero e a pressão enviada para o sistema é máxima.

Normalmente, a esfera deve ser preparada de forma que resista uma pressão de 20 Kgf/cm² (g), valor bem acima da pressão de operação, que costuma ser em torno de 13 Kgf/cm² (g).

3.02 Acidentes Ampliados em Parques de Esferas

Feyzin

A refinaria de Feyzin empregava cerca de 250 pessoas quando ocorreu o incidente. Suas unidades principais eram localizadas ao norte de uma estrada local e tinham uma capacidade de processamento de cerca de dois milhões de toneladas de petróleo bruto por ano (quarenta mil barris por dia, aproximadamente).

As áreas de armazenamento principais estavam situadas ao sul desta estrada, adjacente a uma cerca de divisa com uma auto-estrada. Nesta área, havia os seguintes equipamentos: quatro esferas de pressão para armazenamento de propano (1200 m³),

quatro esferas de pressão utilizadas para armazenamento de butano (2000 m³), dois vasos de pressão cilíndricos utilizados para o propano e para o butano (150 m³) e dez tanques de teto flutuante usados para o armazenamento de gasolina (2500 m³) e querosene (6500 m³).

As esferas de armazenamento de GLP estavam cerca de quatrocentos e cinquenta metros de distância da unidade mais próxima da refinaria e de trezentos metros das casas da cidade. A menor distância entre uma esfera de GLP e a auto-estrada era de pouco mais de quarenta e dois metros e os espaçamentos entre as esferas variava entre 0,44 m e 11,3 m. Tal cenário está em desacordo com o item 20.3.8.2 da NR-20, que estabelece que “recipientes acima de oito mil litros deverão estar distanciados entre si de no mínimo 1,50 m”. Cada uma das esferas foi equipada com sprays de água fixos tanto na parte superior quanto à meia-altura, além de um spray individual adicional dirigido para as conexões de fundo.

O acidente aconteceu em janeiro de 1966, na França, devido a uma falha operacional durante a drenagem da esfera de GLP, ocasionando BLEVE. Os fragmentos liberados cortaram as pernas da esfera vizinha, que tombou e gerou um jato de fogo.

Alguns fatores que contribuíram para aumentar a proporção do acidente foram o tempo para acionar o alarme após o início do vazamento, o atraso na chegada dos bombeiros da refinaria (dez minutos para o primeiro bombeiro e cinquenta minutos para a força total que chegou cerca de trinta minutos após a força municipal) e o controle de trânsito nos arredores, que era uma fonte de ignição em potencial (LA CATASTROPHE DE FEYZIN, 2011).

Desde o desastre de Feyzin, muitos outros tanques pressurizados que continham gases liquefeitos sofreram BLEVE. Os riscos agora são mais bem compreendidos e as esferas de armazenamento são, hoje, protegidas da imersão em chamas por um melhor design.

Desastre de San Juanico

Aproximadamente às cinco horas da manhã de 19 de novembro de 1984, um grande incêndio e uma série de explosões catastróficas ocorreram na propriedade da PEMEX, no terminal de GLP em San Juanico, Cidade do México. Como consequência desses eventos, cerca de quinhentas pessoas foram mortas e o terminal ficou destruído.

A fábrica havia sido construída segundo o manual API Design (American Petroleum Institute) de projeto de recipientes e vasos de pressão. O terminal era composto por cinquenta e quatro unidades de armazenamento de GLP, sendo seis tanques esféricos (com capacidades que variavam entre 1500 e 2400m³) e quarenta e oito cilindros de diferentes capacidades (FLORIDO, 2003).

O evento que desencadeou o acidente foi a ruptura de uma tubulação de vinte centímetros de diâmetro que transportava GLP das refinarias para a instalação de armazenamento de San Juanico e que se localizava próxima a um dos parques de esferas. O fato ocorreu, provavelmente, devido ao enchimento excessivo dos tanques e à sobrepressão na linha de transporte por retorno.

A queda na pressão foi observada na sala de controle e também em uma estação de bombeamento. Infelizmente, os operadores não conseguiram identificar a causa desta. A liberação de GLP continuou por cerca de cinco a dez minutos, quando a nuvem de gás de volume estimado de 60.000 m³ inflamou, provocando um choque violento sobre o solo e diversos incêndios. O vento estava fraco na localidade, com velocidade de 0,4 m/s para o sudoeste, o que contribuiu para o acidente, uma vez que evitou a rápida dispersão da nuvem.

A explosão de nuvem de vapor não confinada (UVCE) gerou um incêndio de grandes proporções, que atingiu dez habitações no primeiro momento. Doze minutos depois, uma das esferas menores se incendiou, gerando BLEVE e bola de fogo de aproximadamente trezentos metros de diâmetro. Posteriormente, outras quatro esferas

e quinze cilindros sofreram BLEVES sucessivos por cerca de uma hora e meia. Todas as explosões foram registradas pelo sismógrafo da Universidade da Cidade do México.

As explosões queimaram cerca de 12.000 m³ de combustível, equivalente a 6.500 toneladas com uma densidade de 560 kg/m³. Este valor representava um terço do abastecimento de gás liquefeito de petróleo da Cidade do México. As instalações locais e toda a cidade de San Juan Ixhuatepec, que se localizava a trezentos metros do terminal de armazenamento, foram destruídas. A radiação térmica gerada a partir do incêndio causado pelas explosões foi tão alta que apenas dois por cento dos corpos encontrados puderam ser reconhecidos (FLORIDO,2003).

O ponto de partida do acidente foi a ruptura da tubulação de 20 cm de diâmetro, que gerou queda de pressão na sala de controle meia hora depois e, na sequência, aconteceu a ignição da nuvem de gás e a explosão seguida do incêndio. O primeiro BLEVE foi registrado pelo cismógrafo às 5:45 h, o segundo às 5:46 h e os bombeiros foram chamados. O tráfego só foi interrompido pela polícia às 6:00 h, ficando caótico às 6:30 h. A última explosão foi registrada meia hora antes dos BLEVES de pequenos cilindros começarem, às 7:00 h. Os trabalhos de resgate iniciaram-se às 8:00 h e às 11:00h ocorreu a última explosão das unidades menores.

Acidente da REDUC

No início da década de 50, foi elaborado o projeto da Refinaria de Duque de Caxias, REDUC. Em 1961, deu-se a partida na mesma. De acordo com o Manual da REDUC de 1990, sessenta mudanças ocorreram em unidades distintas da refinaria entre 1961 e 1987, tendo como consequência um incremento na capacidade efetiva do processamento da mesma. No entanto, nessa época, pouco se sabia em relação à aplicação das técnicas de análise de confiabilidade e de risco em projetos deste tipo. Relatos históricos narram os primeiros casos conhecidos de aplicação desta análise em refinarias brasileiras em 1985. Com tais técnicas ainda em desenvolvimento, as adaptações dos sistemas de prevenção de acidentes industriais não foram realizadas, gerando um grande passivo acumulado e prejudicando a segurança industrial. Os novos riscos eram aqueles inerentes à implementação da nova unidade e os advindos

da interação desta com a antiga, que exigiriam mão de obra apta a lidar com as novas rotinas e com os novos acidentes em potencial.

Em 30 de março de 1972, ocorreu a explosão de uma das esferas de GLP, lançando fragmentos que chegaram a alcançar o centro de Duque de Caxias. Contabilizou-se um total de quarenta e dois mortos, mas, adicionalmente, houve menção a desaparecidos. A apuração foi dificultada pela vigência do regime militar, que definia a área da refinaria como sendo de segurança nacional. Muito embora haja especulação sobre a sequência de eventos que levou ao trágico desfecho, não se tem certeza do que aconteceu, já que os presentes não sobreviveram para relatar os fatos.

Sabe-se que, na época, o parque de GLP era composto por quatro esferas. O bloqueio na parte inferior de cada uma era do tipo simples, ou seja, havia somente uma válvula de dreno. Na fatídica quinta-feira, as esferas encontravam-se cheias e com água no fundo. Seguindo a rotina operacional, deu-se início o processo de drenagem das mesmas, abrindo-se a válvula e drenando-se a água para o meio ambiente. Estando o sistema pressurizado, o líquido era empurrado para fora da esfera. Segundo relato de um engenheiro químico, duas versões para o acontecimento são contadas: já era quase na hora da troca de turno; o operador, tendo horário certo para saída para que não perdesse ônibus,

- abriu as válvulas e avisou a outro operador, que chegava para assumir seu lugar, da situação;
- abriu as quatro válvulas ao mesmo tempo, tentando otimizar o trabalho.

Acredita-se que havia, em uma das esferas, menos água do que o de costume. Tendo esta sido totalmente drenada, começou, então, a sair GLP pela válvula.

O GLP líquido sofre flash quando em contato com o meio ambiente, diminuindo a temperatura ao seu redor e condensando o vapor de água contido no ar. Houve, conseqüentemente, formação de uma bola de gelo, que impediu o fechamento da válvula, por onde, naquele momento, jorrava GLP. Sendo este mais pesado do que o

ar, começou a se esparramar pelas canaletas que cercavam o espaço. Mais duas versões são contadas para os acontecimentos posteriores:

- Existia uma permissão de trabalho a quente para os empreiteiros que trabalhavam fazendo solda. Toda a drenagem da canaleta era para o oeste, exatamente na direção do canteiro onde eles se encontravam. Quando o rio de GLP atingiu a área e entrou em contato com a faísca, pegou fogo e, como um pavio, foi queimando até atingir a esfera;
- Na tentativa de desfazer a bola de gelo, o operário utilizou vapor de água sob pressão. Esta hipótese é menos provável, já que o vapor não gera mistura explosiva.

Pouco tempo após o início do fogo na parte inferior da esfera, sua pressão interna atingiu o set de abertura da PSV. Por estar mal dimensionada, a pressão não pode ser adequadamente aliviada. O GLP começou a borrifar sobre toda a superfície da esfera, em vez de ser liberado sob estado gasoso e queimar, propiciando a formação de uma bola de fogo.

O aumento súbito do calor e o aumento da pressão interna provocou uma grande explosão, o BLEVE. O evento ceifou a vida de todos os operários que trabalhavam no entorno da esfera e da equipe de emergência que havia sido chamada. As outras esferas do parque foram atingidas pela onda de choque e tiveram suas estruturas prejudicadas.

Após o acidente, várias normas e procedimentos operacionais foram revistos e alterados. Como exemplo, pode-se citar a adoção de duplo bloqueio, possibilitando o fechamento da linha ainda que uma das válvulas esteja impedida, e a revisão das condições a serem atendidas no dimensionamento das válvulas de alívio.

Capítulo IV. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE

4.01 A Importância da Manutenção e sua Evolução

As empresas são constantemente impelidas a produzir cada vez mais e a atender prazos, alta qualidade e preços competitivos. A sobrevivência das empresas fica condicionada a busca constante pela qualidade e produtividade.

Combinando homens e máquinas, os processos de produção estão mais complexos a cada dia. A manutenção é um importante fator no aumento da competitividade de uma companhia, bem como no aumento da produtividade, já que esta atividade pode retardar a obsolescência dos equipamentos.

A produtividade pode ser traduzida como a relação entre a entrada (input/despesa) versus a saída (output /resultados). Em um sistema produtivo, o aumento da produção pode ser alcançado minimizando-se o input para as máquinas e os sistemas, custo do ciclo de vida ou custo industrial das máquinas, e maximizando-se o output, ou seja, os produtos gerados, chamado de eficiência do sistema, que é medida pelos seguintes elementos:

- Volume de produção;
- Qualidade;
- Custo;
- Segurança;
- Moral;

Historicamente, a manutenção divide-se em duas fases distintas, o período anterior à década de 50 e o posterior. Até a década de 50, fazia-se basicamente a correção de defeitos. Após este período, pela utilização de um conceito oriundo dos Estados Unidos, a manutenção preventiva, governada por rígidos ciclos de tempo, a manutenção começou a se organizar. Este sistema evoluiu, na década de 60, para a chamada manutenção produtiva, termo criado pela GE americana. O conceito pode ser definido como sendo a busca pelo aumento da produtividade através do incremento da eficiência do sistema, em vez de se tentar minimizar o custo.

Para evoluirmos do conceito de manutenção preventiva para a manutenção produtiva total (TPM), faz-se necessário o entendimento do conceito de terotecnologia. Théros, em grego, significa colheita. Assim, terotecnologia significa tecnologia da boa colheita.

A aplicação deste conceito atua no projeto de forma a facilitar a manutenção de equipamentos, dando a eles a qualidade de manutenibilidade, ou seja, tornando a manutenção destes mais fácil e rápida.

4.02 Conceitos

Neste item serão apresentados conceitos básicos de diversos ramos da engenharia. São eles:

- Engenharia de manutenção;
- Engenharia química;
- Engenharia de segurança;
- Engenharia mecânica;
- Engenharia elétrica.

Como a atividade de manutenção de esferas envolve conceitos de diferentes engenharias, tal passo é essencial para o entendimento deste trabalho. O caráter da atividade de manutenção é, portanto, multidisciplinar.

Quem executa a manutenção deve ter uma visão ampla dos equipamentos e dos sistemas em que está atuando. A visão integrada e a utilização dos conceitos corretos nos trabalhos de engenharia de manutenção são necessárias para reduzir possíveis equívocos.

As definições apresentadas têm, como fonte, documentos técnicos, como as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, API, ASME e normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego – NR.

As equipes de engenharia de manutenção, de processo e todos os demais agentes envolvidos na operação de uma instalação devem utilizar uma forma de comunicação padronizada para reduzir erros que pudessem ser ocasionados pelo desalinhamento de conceitos.

Conceitos de Engenharia de Manutenção

Defeito - Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos (NBR-5462).

Falha - Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida (NBR-5462).

Pane - Estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos (NBR-5462).

Nota: Uma pane é geralmente o resultado de uma falha de um item, mas pode existir sem uma falha anterior.

Erro - Diferença entre um valor ou uma condição observada ou medida e a correspondente condição ou valor verdadeiro especificado ou teórico (NBR-5462).

Filosofia de manutenção - Conjunto de princípios para a organização e execução da manutenção (NBR-5462).

Política de manutenção - Descrição das interrelações entre os escalões de manutenção, os níveis de intervenção e os níveis de manutenção a serem aplicados para a manutenção de um item (NBR-5462).

Nível de intervenção - A subdivisão de um item sobre a qual são realizadas as ações de manutenção (NBR-5462).

Manutenção preventiva - Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (NBR-5462).

Manutenção corretiva - Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR-5462).

Manutenção controlada / Manutenção preditiva - Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR-5462).

Reparo - Parte da manutenção corretiva na qual são efetuadas as ações de manutenção efetiva sobre o item, excluindo-se os atrasos técnicos (NBR-5462).

Deteção da pane - Constatação de que um item está em pane (NBR-5462).

Verificação funcional - Ações efetuadas depois da correção da pane para verificar se o item recuperou sua capacidade de desempenhar a função requerida (NBR-5462).

Restabelecimento funcional - Recuperação da capacidade de um item desempenhar uma função requerida depois de uma pane (NBR-5462).

Supervisão/Monitoração - Atividade executada, manual ou automaticamente, para observar o estado de um item (NBR-5462).

Conceitos de Engenharia de Segurança

Vasos de pressão - São equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa (NR-13).

Grave e iminente risco - Toda condição ou situação de trabalho que possa causar acidente ou doença relacionada ao trabalho com lesão grave à integridade física do trabalhador (NR-3).

PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível trabalhador (NR-13).

Código de projeto de construção – Norma técnica utilizada para a construção do equipamento.

Profissional habilitado - Aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País (NR-13).

4.03 Políticas de Manutenção

Manutenção Produtiva Total (TPM)

A Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance*) foi desenvolvida no Japão pelo engenheiro mecânico Seiichi Nakajima, nascido em 1926. É um programa de desenvolvimento e de implementação de uma estrutura na empresa, que tem, por objetivos:

- Integrar produção e manutenção;
- Integrar todos os níveis da organização desde a diretoria até o pessoal operacional;
- Maximizar o rendimento do sistema produtivo e de toda a empresa;
- Melhorar a qualidade;
- Alcançar a quebra/falha zero;

- Alcançar acidente zero;
- Alcançar poluição zero.

Atualmente, a TPM tem como órgão divulgador o *Japan Institute Of Plant Maintenance* (JIPM), que é responsável também pela determinação de padrões a serem atingidos por empresas que queiram se diferenciar pela obtenção do Prêmio “*Productive Maintenance*”. Esta política impôs-se no mercado e tornou-se um padrão de excelência empresarial.

Sua primeira aplicação prática ocorreu em 1971, em uma empresa do grupo Toyota. No Brasil, foi introduzida em 1986.

É importante salientar que a TPM é um conceito que pode ser amplamente utilizado se conduzido adequadamente a cada ramo de atividade, respeitando-se suas particularidades.

Em uma instalação automatizada, a operação das máquinas e a aplicação da TPM não requerem tanta mão-de-obra, já que sobram apenas as tarefas de manutenção mais simples, como lubrificação e troca de peças. Ainda, tendo o conhecimento prático, o operador responsabilizado pela manutenção tem a liberdade de criar novas tarefas que atendam melhor cada caso específico, o que caracteriza a Manutenção Autônoma.

A TPM abandona a tradicional divisão do trabalho, não significando que o operador execute todas as tarefas de manutenção. O operador deve executar as tarefas mais simples e, se uma intervenção mais complexa for necessária (inspeções periódicas, diagnósticos de maior precisão e reparos mais profundos), um profissional especializado em manutenção é designado.

(a) **Pilares da TPM**

A TPM baseia-se em oito pilares. Uma representação destes pode ser vista na Figura IV-1.

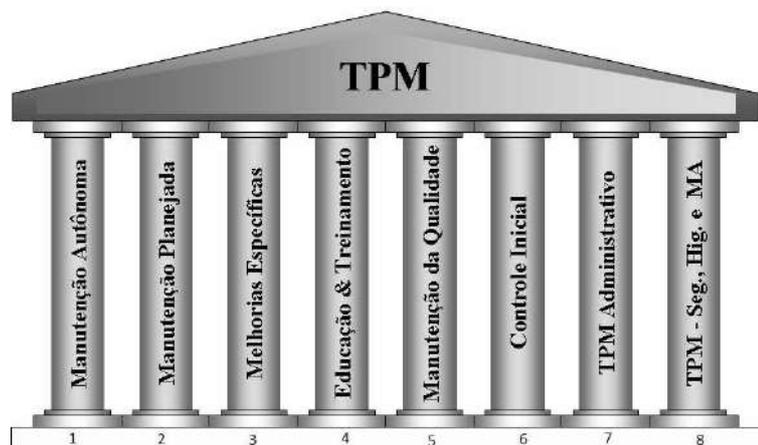


Figura IV-1 – Pilares do TPM

(Fonte: Disponível em: <http://pauloamaral.blog.br/tpm-manutencao-produtiva-total/>)

1. Manutenção autônoma – consiste na busca pela melhoria da eficiência dos equipamentos através do desenvolvimento da capacidade dos operadores para a execução de pequenos reparos e inspeções, mantendo o processo dentro de padrões estabelecidos, antecipando-se a potenciais problemas.
2. Manutenção planejada – é a conscientização da companhia em relação às perdas decorrentes das falhas de equipamentos, tendo como princípio mudanças na mentalidade das divisões de produção e de manutenção, de forma a minimizar falhas e defeitos com o menor custo.
3. Melhorias específicas – são atividades que erradicam, de forma concreta, as oito grandes perdas que reduzem a eficiência do equipamento. Pela eliminação destas perdas, melhora-se a eficiência global do equipamento.
4. Educação & treinamento – tem, como objetivo, o desenvolvimento de novas habilidades e de novos conhecimentos para o pessoal da manutenção e da produção.
5. Manutenção da qualidade – destina-se a definir as condições do equipamento para que defeitos de qualidade sejam excluídos, com realização de manutenção

do equipamento em perfeitas condições, de maneira que possa ser mantida a qualidade dos produtos processados.

6. Controle inicial – é a determinação da sistemática para levantamento das inconveniências, imperfeições e incorporações de melhorias, ainda que em máquinas novas, através dos conhecimentos adquiridos. Tal controle melhora a aptidão na elaboração de novos projetos onde vigorem os conceitos da PM (Prevenção da Manutenção), resultando em um sistema que apresente máquinas com quebra zero.
7. TPM administrativo - objetiva a eliminação de desperdício, de perdas geradas pelo trabalho de escritório, sendo essencial que todas as atividades organizacionais sejam eficientes.
8. TPM – higiene, segurança e meio ambiente – busca a melhor situação, a de acidente zero, proporcionando um sistema que garanta a preservação da saúde e do bem estar dos funcionários, bem como a do meio ambiente.

(b) Implantação da TPM

A implementação da TPM é realizada seguindo-se os doze passos seguintes (TAVARES, L.A, 1999):

Passo 01 - Comprometimento da alta gerência

A alta administração tem que estar comprometida e este comprometimento deve ser divulgado. A divulgação também deve fornecer informações sobre a TPM a todos os colaboradores, indicando as intenções e expectativas em relação ao método.

As comunicações devem acontecer em reuniões tanto da diretoria quanto das gerências e devem ser divulgadas por escrito, sendo a decisão de implementação da TPM formalizada pela empresa.

Os setores para o desenvolvimento da TPM (implementação de esquema piloto) devem ser escolhidos quando a empresa for de grande porte.

Para obtenção de sucesso na implementação da TPM, o cumprimento das seguintes diretrizes deve ser obedecido:

- Verificar pessoalmente o nível de compreensão dos colaboradores;
- Verificar e zelar pela correta divulgação dos conceitos do TPM;
- Incentivar os aspectos relativos ao planejamento e execução;
- Cuidar para que sejam sempre desenvolvidas posturas positivas;
- Externar elogios pelo esforço do trabalho realizado;
- Verificar e comentar os resultados apresentados, evitando extrapolações e conclusões apressadas;
- Mostrar interesse pelos problemas e oferecer ajuda ao grupo;
- Criticar moderadamente, sempre como uma forma de incentivo ao trabalho, apenas no caso de uma correção de direcionamento;
- Quando questionado, deve-se falar franca e abertamente sobre as situações, sempre com postura positiva, procurando motivar o estabelecimento de soluções.

Passo 02 – Campanha de difusão do método

A meta da TPM é a reestruturação efetiva, através do aperfeiçoamento dos recursos humanos, dos equipamentos, das instalações e da cultura da empresa.

A elaboração de um programa de educação e treinamento introdutório a todos os gerentes, supervisores e facilitadores é fundamental, de forma que seja fornecida a eles a compreensão plena da metodologia orientada pelos propósitos da empresa. Os demais colaboradores devem ser capacitados por seus supervisores. A implementação da TPM falha quando se tenta aplicação imediata, sem a capacitação prévia.

A difusão do método deve ser estendida a toda a empresa, inclusive às áreas de desenvolvimento, compras, financeira e relações humanas, buscando a cooperação entre as partes. Complementando-se o treinamento, recomenda-se a utilização de cartazes, faixas, dentre outras formas de comunicação.

Passo 03 – Definição de coordenadoria e nomeação dos coordenadores para gerenciamento do programa e formação dos grupos de trabalho.

O estabelecimento do comitê de coordenação e implantação. Preferencialmente, os chefes de cada departamento definirão suas equipes em cada área de atuação.

A interação destes grupos é fundamental para a TPM. O tempo médio para implementação efetiva deste é de três a cinco anos, sendo necessário que os designados para os comitês disponham deste tempo para atuação.

Passo 04 – Política básica e metas

A promoção da TPM deve ser realizada como parte de uma política e de uma administração objetiva, esclarecendo-se sua integração, a médio e longo prazo, com as políticas da empresa. Deve-se, ainda, inserir uma meta comercial relacionada à implementação da metodologia, bem como devem ser estabelecidos critérios de comparação entre a condição atual e o alcance da “excelência empresarial”, possibilitando a realização da previsão dos progressos que serão obtidos e da relação custo x benefícios.

Para avaliar o progresso obtido após a instauração da TPM, índices de classe mundial podem ser utilizados.

Passo 05 – Plano piloto

Para acompanhamento de todas as etapas, é estabelecido um plano piloto. Através dele, podem-se verificar os progressos atingidos e estabelecer parâmetros atuais. Se necessário, pode-se, ainda, instaurar as mudanças devidas.

É possível que seus resultados demorem a aparecer até sua implementação definitiva, já que a TPM se destina ao aperfeiçoamento de pessoal e das instalações. Seu progresso deve ser periodicamente avaliado (recomenda-se que seja mensalmente) pelos coordenadores, para que, caso necessário, medidas de adequação ao desenvolvimento sejam adotadas.

Passo 06 – Início da Implementação.

Deve ser reforçado, pela empresa, o compromisso com a implementação do programa, que deve ocorrer depois da comunicação do desafio de se reduzir seis grandes perdas, a saber:

- (1) Perdas por quebra.
- (2) Perdas por demora na troca de ferramentas e regulagem.
- (3) Perdas por operação em vazio (espera).
- (4) Perdas por redução da velocidade em relação ao padrão normal.
- (5) Perdas por defeitos de produção.
- (6) Perdas por queda de rendimento.

Nesta etapa, a fase de treinamento dos empregados já deve estar concluída. Uma averiguação em campo deve ser realizada, de forma a medir o entendimento do programa por parte dos colaboradores. Os resultados devem ser divulgados e comemorados.

Passo 07 – “Kobetsu-Kaizen” para a obtenção da eficiência nos equipamentos e instalações.

Neste passo, deve ser elaborado um levantamento detalhado das necessidades de melhoria de cada equipamento, sendo o foco deste a redução das seis grandes perdas.

Passo 08 – Estabelecimento do “Jishu-Hozen” (Manutenção autônoma)

É o incentivo ao desenvolvimento de novas tarefas de manutenção pelo próprio operador. Tendo o conhecimento prático da operação do maquinário, ele sabe quais são as tarefas que surtem resultados positivos, que são eficazes.

Passo 09 – Eficácia dos equipamentos pela engenharia de produção

Estímulo ao desenvolvimento de produtos e equipamentos fáceis de operar e de manter. Estabelecimento das condições para eliminar defeitos de produtos e facilitar os controles.

Passo 10 – Estabelecimento do sistema para obtenção da eficiência global

É a busca pelo comprometimento de todas as equipes, de forma que os pedidos feitos pela manutenção sejam atendidos corretamente e dentro do prazo esperado. É o apoio à produção, incrementando a eficiência desde o escritório até os equipamentos.

Passo 11 – Estabelecimento do sistema de promoção das condições ideais de segurança e higiene e de um ambiente de trabalho agradável.

A meta, nesta fase, é alcançar acidente zero e poluição zero. Para que ela seja alcançada, as seguintes ações devem ser adotadas:

- Analisar e implementar recomendações de segurança e meio ambiente;
- Estimular a aceitação das recomendações de segurança e meio ambiente;

Passo 12 – Aplicação plena do TPM e realização adicional das seguintes tarefas.

- Definição de novas metas e desafios;
- Auditoria para realização de ajustes;

Manutenção Centrada na Confiabilidade – (RCM)

A manutenção centrada na confiabilidade, ou reliability centered maintenance (RCM), pode ser explicitada como o processo pelo qual se definem os requisitos de manutenção exigidos por qualquer parte física do sistema, de modo que a função deste seja mantida.

O paradigma que sustenta esta política é **preservar a função do sistema**. Seu desenvolvimento se deu no início da década de 1960, com a formação de um grupo de estudos, o *Maintenance Steering Groups* – MSG, que tinha a intenção de avaliar de avaliar os métodos de manutenção utilizados na época e propor ações que aumentassem a confiabilidade dos sistemas. Este documento sofreu atualizações em 1970, MSG 2, e 1993, MSG 3. Em 1978, ele foi publicado sob o nome de *Reliability Centred Maintenance* – RCM, sendo ainda hoje referência para gestão de equipamentos

Esta política de manutenção é amplamente empregada nas forças armadas dos Estados Unidos e de outros países. Atualmente, é utilizada em larga escala nas indústrias nuclear e do petróleo (offshore).

A prática da manutenção preventiva tradicional é voltada para a preservação do equipamento, sem a preocupação com suas funções no sistema em que ele está integrado e com as prioridades de alocação dos recursos da manutenção. As tarefas determinadas no plano da manutenção preventiva são determinadas, na maioria das vezes, como uma atividade que pode “ser feita”, e não “que deveria ser feita” ou “por que” fazê-la.

Como consequência da falta de avaliação técnica correta, que definiria uma melhor alocação dos recursos nas tarefas de manutenção preventivas a serem executadas, o processo se torna inadequado e, por vezes, falhas no equipamento, que poderiam ser evitadas, acontecem.

Os programas de manutenção preventiva têm sido gerados com base na intuição, surgindo argumentos do tipo:

1. Experiência

“Tem sido feito deste modo nos últimos 15 anos, portanto, deve ser bom”.

2. Juízo de Valor

“Eu acho que isso deve ser uma boa coisa a se fazer”.

3. Recomendação

“O fabricante disse que deveríamos fazer assim”.

4. Força Bruta I

“Quanto mais Preventiva Melhor”.

5. Força Bruta II

“Quanto menos preventiva melhor”.

A manutenção tradicional se diferencia da manutenção centrada na confiabilidade por diferentes conceitos, apresentados na Tabela II-1.

Tabela IV-1 - Abordagens da manutenção

Manutenção tradicional	Manutenção centrada na confiabilidade
Foco no equipamento	Foco no sistema
Preservação do equipamento	Preservação da função do equipamento e do sistema
Tarefas identificadas como base no que pode ser feito	Tarefas determinadas com base “no que deve ser feito e no por que”
Ênfase na coleta e na utilização de dados de falha	Priorização da coleta e análise de dados de falha

Os elementos exclusivos do RCM são (MOUBRAY, J, 1997):

- Preservação do sistema – preservar não somente equipamento, mas também o que ele representa para o sistema;
- Identificação das falhas funcionais, dos modos de falha e dos modos de falha dominantes - as falhas prejudicam a função do equipamento. As dominantes são as imprescindíveis para que o problema ocorra.
- Identificação dos tipos de tarefa de manutenção potencialmente adequados através de um diagrama de decisão – tais diagramas por ser modelos de tentativa e erro, estatísticos ou aqueles em função de *handbooks* de manutenção, não sendo abordados neste trabalho.
- Seleção de tarefas aplicáveis e eficazes (técnica e economicamente) – em alguns casos, opta-se pelo “*run to fail*”, que significa deixar o equipamento funcionar até falhar, não aplicando nenhuma tarefa de manutenção a ele, já que a realização desta não é economicamente viável.

O processo de implantação do RCM é composto pelas cinco etapas seguintes(MOUBRAY, J, 1997):

1. Na primeira etapa, realiza-se a seleção dos sistemas envolvidos, ou seja, dos sistemas na fronteira, suas interações e sua modularidade.
2. Na segunda etapa, são identificadas as funções e as falhas funcionais que podem ocorrer no equipamento escolhido.
3. Na terceira etapa, é realizada uma Análise de Modos e Efeitos de Falhas Funcionais, FMEA¹ (*Failure modes and Effects Analysis*). São levados em consideração os níveis de segurança, os cuidados com o meio ambiente e os efeitos das falhas na produção.

¹ O FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas, um procedimento, um diário para execução de projetos, processos ou serviços e para suas respectivas consequências adversas.

4. Na quarta etapa, é feita a seleção das tarefas que vão atender à manutenção do equipamento, utilizando-se a melhor técnica e a melhor solução econômica para o sistema.
5. Na quinta e última etapa, tem-se a implantação do plano de manutenção, quando adotam-se as novas tarefas e técnicas escolhidas.

Para a identificação de quais sistemas são candidatos à implementação do RCM, primeira etapa, observa-se se o sistema em estudo apresenta pelo menos um dos itens abaixo:

- Alto custo da manutenção preventiva, o que pode ser motivado pela determinação equivocada das tarefas de manutenção, ou seja, periodicidade inadequada, tarefas demais – não importantes para manutenção da função do sistema – e métodos de execução equivocados.
- Elevado índice de manutenções corretivas no histórico recente, o que implica que as tarefas de manutenção preventiva realizadas não estão adequadas ao sistema ou que são executadas de forma incorreta, não garantindo a preservação da função do mesmo.
- Impacto significativo da (in)disponibilidade da instalação. Os equipamentos críticos da instalação devem receber a maior atenção possível, para que a produção não seja prejudicada.
- Implicações na segurança e no meio ambiente. Isto ocorre quando a falha de determinado sistema pode provocar sérios problemas ambientais ou de segurança.

Para a descrição eficiente do sistema, faz-se necessária a enumeração dos seguintes pontos:

- Fazer um diagrama funcional de blocos. A elaboração deste diagrama, mostrando o sistema e identificando suas interações, é importante para o entendimento da atividade e para solução de falhas.
- Identificar corretamente as interfaces de entrada e saída.

- Fazer uma relação dos equipamentos mecânicos, elétricos, da instrumentação e controle, dentre outros.

A identificação da Análise de Falhas Funcionais (AFF), parte integrante da segunda etapa, deve ser desenvolvida, tendo-se o seguinte ponto como base:

- Definição clara de todas as funções e não apenas das julgadas como sendo mais importantes à primeira vista. Normalmente, os fluxos de saída estão associados às funções do sistema. Assim, de modo prático, a saída do sistema define sua função.

A terceira etapa corresponde à realização do FMEA, sendo definida pelos seguintes objetivos:

- Definir, para cada falha funcional, os respectivos modos de falha relevantes, sendo esta a que pode ser percebidas pelo cliente;
- Identificar todos os componentes que devem ser submetidos ao Diagrama de Decisão (DD);
- Definir quais os componentes que irão para lista de manutenção corretiva;
- Definir a criticidade dos efeitos:
 - Seguras - sem efeito para o sistema, para o pessoal e para o meio ambiente;
 - Marginais - afetam o sistema sem causar maiores danos;
 - Críticas - sem ação bloqueadora, podendo causar danos importantes ao sistema, ao pessoal e ao meio ambiente;
 - Catastróficas - provocam danos severos ao sistema, ao pessoal e ao meio ambiente;
- Definir a severidade dos efeitos, como indisponibilidade da instalação e problemas com segurança e com meio ambiente;
- Relatar a frequência de ocorrência do evento;
- Avaliar o custo da manutenção, decidindo se ele é ou não elevado a ponto de não favorecer a aplicação desta.

Na FMEA, a decisão final depende das discussões da equipe, que utiliza meios subjetivos para análise dos fatores envolvidos.

A quarta etapa é caracterizada pela análise do diagrama de decisão, que categoriza os modos de falha de acordo com suas conseqüências e ajuda a estabelecer as prioridades através da aplicação do diagrama de decisão da Figura IV-2. Estes modos podem ser falhas evidentes ou ocultas, função de segurança/disponibilidade e impactos operacionais ou econômicos.

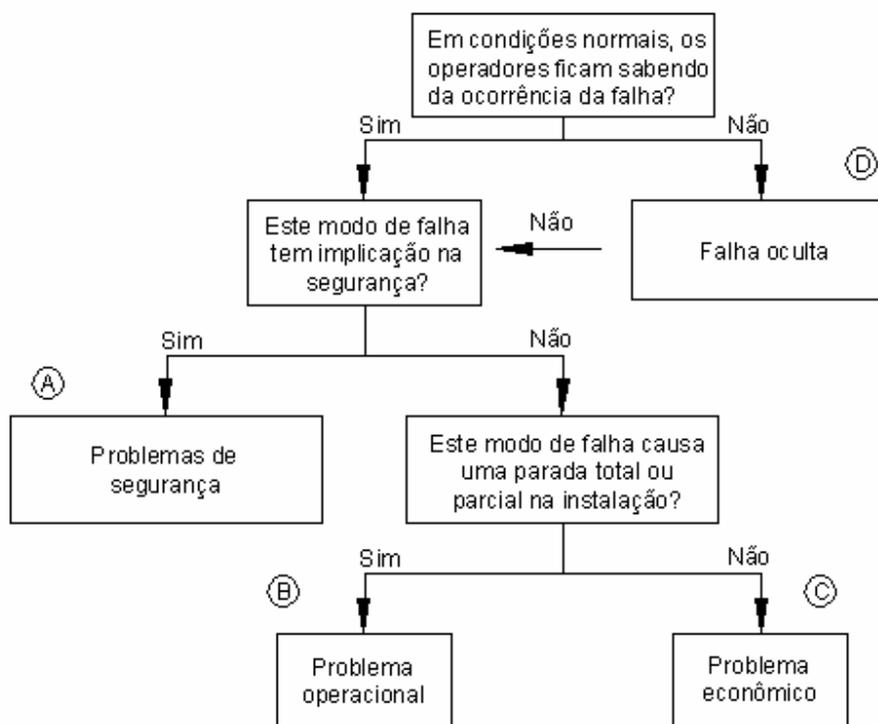


Figura IV-2 - Diagrama de decisão para priorização dos modos de falha

(Fonte: Cedido por Joacy Santos Junior)

Feita a conclusão do estudo para estabelecimento das prioridades, obtêm-se elementos suficientes para se determinar que tarefa de manutenção deve ser dispensada a cada modo do sistema, devendo, as tarefas listadas, atender aos critérios de aplicabilidade e eficácia.

Diz-se que a tarefa é passível de ser aplicada quando ela é tecnicamente viável e evita a ocorrência da falha ou mitiga suas conseqüências, e/ou quando ela serve para descobrir uma falha oculta. Quanto à eficácia, ou custo eficaz, ela só é viável quando,

ao ser comparada em termos financeiros com a alternativa a manutenção preventiva, que seria o uso da peça ou equipamento até seu desgaste total, ainda caracteriza uma boa opção.

Para finalizar a seleção das tarefas, deve-se avaliar qual a melhor metodologia a ser adotada, o que pode ser feito pelo uso do diagrama de decisão da Figura IV-3.

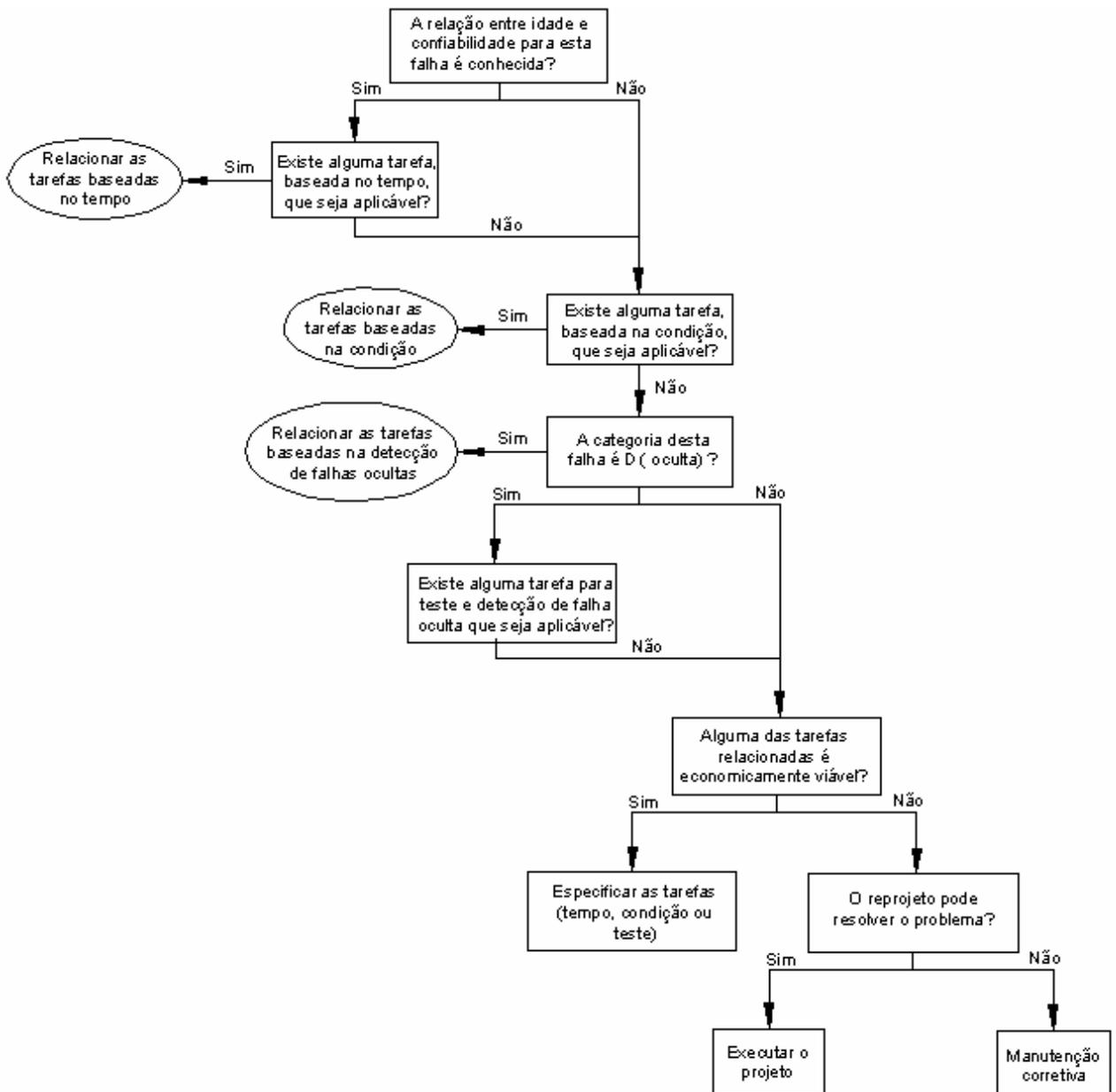


Figura IV-3- Diagrama de decisão para seleção de tarefas

(Fonte: Cedido por Joacy Santos Junior)

Na quinta etapa da implantação da manutenção baseada na confiabilidade, elaboram-se procedimentos de manutenção para as tarefas selecionadas, os equipamentos de monitoração que forem necessários às atividades previstas no plano de manutenção são adquiridos e é realizado um treinamento do pessoal executor das tarefas, tendo este o conteúdo necessário para que as novas demandas possam ser atendidas.

Aplicações do RCM

A aplicação inicial do RCM aconteceu nas indústrias elétrica e nuclear, devido à similaridade dos requisitos de segurança destas com os da indústria aeronáutica. Em 1981, a Marinha Americana implementou o RCM na manutenção de submarinos nucleares com mísseis balísticos.

O acidente de Three Miles Island, na Pennsylvania, atuou como grande incentivador da aplicação do RCM na indústria nuclear. A equipe de avaliação das causas do acidente determinou que a aplicação do RCM poderia reduzir o risco de acidentes similares em outras unidades.

A implementação do RCM é fundamental em todas as atividades em que altos níveis de segurança e confiabilidade são essenciais. Os resultados positivos da aplicação desta metodologia motivaram sua adoção principalmente em empresas do setor elétrico, construção naval, petróleo e gás, siderurgia, papel e celulose, alimentação, indústria farmacêutica, mineração, indústria alimentícia e hospitais.

Sendo os conceitos e técnicas de RCM bastante gerais, sua implementação pode ser feita a qualquer sistema, independente da tecnologia, em que seja necessário manter a funcionalidade de processos ou ativos físicos.

Dificuldades na implantação do Programa de RCM

As dificuldades que podem surgir da implantação deste programa concentram-se na falta de recursos humanos e materiais, de infra-estrutura inadequada ao atendimento das novas tarefas, da aceitação do modelo pela equipe e da falta de

integração entre a equipe de operação e a de manutenção, o que pode vir a gerar um fracasso, na maioria das vezes nas tarefas baseadas na condição e detecção de falhas.

Confiabilidade

Confiabilidade pode ser explicitada como sendo a probabilidade de um equipamento operar com sucesso (sem falhas) por um determinado período de tempo especificado sob condições também especificadas. Esta definição explícita quatro aspectos importantes do conceito de confiabilidade, sua natureza probabilística, sua dependência com tempo, a necessidade de estabelecimento do conceito de sucesso ou não do sistema e a necessidade de se especificar as condições de operação do equipamento (SANSON, F e RIBEIRO, J. L. D, 2009)

A confiabilidade está diretamente relacionada com a confiança depositada em um equipamento ou sistema. Assim, uma das finalidades da confiabilidade é definir a margem de segurança em que se pode trabalhar. Resumidamente,

A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado por um determinado período de tempo e sob condições ambientais determinadas (LAFRAIA, J.R.B., 2001).

Pela definição, subentende-se que o objeto de interesse seja um item, cuja delimitação depende do propósito de estudo. Em alguns casos, considera-se como um sistema algo constituído de um arranjo de diversos componentes, como um item. Em outros casos, nos quais existe interesse ou possibilidade de maior detalhamento da análise, o termo se refere a um componente ou arranjo em particular.

A confiabilidade é uma probabilidade que utiliza os modelos matemáticos para que seja expressa. A correta especificação do modelo matemático depende do desempenho ou do comportamento deste item.

Para a definição de confiabilidade de um determinado item, a especificação do propósito ou uso pretendido faz-se indispensável. Logo, é comum que um mesmo

produto seja fabricado em diferentes versões. Por exemplo, uma furadeira pode ser fabricada para uso doméstico ou industrial. Neste caso, como as condições de operação foram alteradas, é provável que a confiabilidade também o seja.

Avaliação da Gestão de Manutenção

O relatório gerencial fornece elementos indispensáveis para que decisões sejam tomadas e para que metas sejam estabelecidas. Este relatório deve ter apresentação concisa, contendo índices e gráficos de fácil análise e avaliação.

Com ele pode-se definir, de forma mais precisa, o plano de manutenção, um cronograma contendo as ações eficazes e efetivas a cada situação, bem como suas frequências de aplicação. A periodicidade pode ser definida com base em modelos de probabilidade ou por consenso entre os engenheiros, usando-se práticas geralmente aceitas na disciplina. O desfecho esperado é a otimização dos resultados, atendendo às expectativas do cliente.

Geralmente, algumas restrições são impostas pelo contratante, sendo estas pontos delimitantes. Podem ser referentes a segurança no trabalho e ao meio ambiente, como a legislação e procedimentos internos da organização, a viabilidade física - restrição de capacidade de um equipamento ou instalação, de disponibilidade de espaço, de mão de obra e tempo, de condições ambientais e de recursos financeiros.

4.04 Índices relacionados à manutenção

Índices de classe mundial

São aqueles tidos como padrão, utilizados em todo o mundo. Obedecem sempre a uma mesma expressão, sendo que, dos seis índices existentes, quatro são referentes à gestão de equipamentos e dois, à gestão de custo.

Tempo Médio Entre Falhas: divisão entre a multiplicação do produto do número de itens por seus tempos de operação pelo número total de falhas detectadas nestes itens

no período observado. É utilizado para itens que são reparados após a ocorrência de falha

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{NTMC}, \text{ onde:}$$

TMEF – Tempo médio entre falhas

NOIT – Número de itens

HROP – Horas de operação

NTMC – Número total de manutenção corretiva

Tempo Médio Para Reparo: relação entre o tempo total de intervenção corretiva em um conjunto de itens com falha e o número total de falhas detectadas nestes itens no período observado. É usado para itens cujo tempo de reparo ou substituição é significativo em relação ao tempo de operação.

$$TMPR = \frac{HTMC}{NTMC}, \text{ onde:}$$

TMPR – Tempo médio para reparo

HTMC – Tempo total de manutenção corretiva

NTMC – Número total de manutenções corretivas

Tempo Médio Para Falha: relação entre o tempo total de operação de um conjunto de itens não reparáveis e o número total de falhas detectadas nestes itens no período observado. É utilizado para itens substituídos após a ocorrência da falha.

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC}, \text{ onde:}$$

TMPF – Tempo médio para falha

HROP – Horas de operação

NTMC – Número total de manutenções corretivas

A diferença conceitual entre os índices Tempo Médio Para Falhas e Tempo Médio Entre Falhas é que o primeiro é aplicado a itens que não são reparados após a ocorrência da falha e, o segundo, calculado para itens que são reparados após a ocorrência da falha, de forma que os dois não podem ser usados para uma mesma situação.

Graficamente estes índices são representados na Figura IV-4.

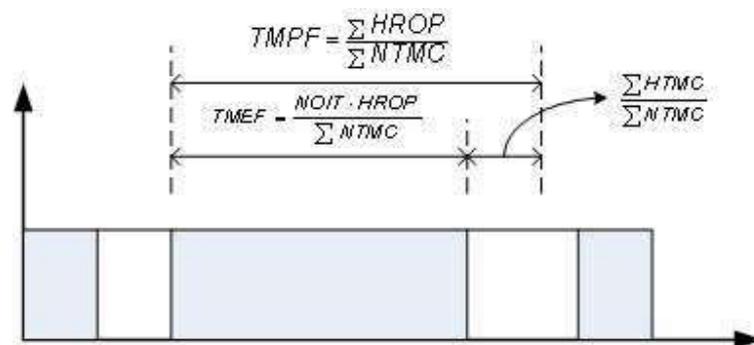


Figura IV-4 - Representação gráfica dos índices mundiais TMPF, TMEF e o TMR.

(Fonte: Cedido por Joacy Santos Junior)

Disponibilidade de Equipamentos: é a diferença entre o número de horas do período - tempo corrido trabalhado (por exemplo, um período de três dias é igual a 24 horas, contando-se oito horas trabalhadas por dia) - e a soma do número de horas dispensadas a serviços de manutenção para cada item observado com o número total de horas do período considerado, multiplicados por cem. Este índice representa o percentual de tempo em que o equipamento ficou à disposição da operação para desempenhar suas funções e é um importante indicador na avaliação da qualidade da manutenção.

$$DISP = \frac{HROP}{HROP + HTMN} \cdot 100, \text{ onde:}$$

DISP – Disponibilidade

HROP – Horas de operação

HTMN – Horas totais de manutenção

A disponibilidade é também conhecida como índice de performance ou desempenho do equipamento. Para itens que entram em operação eventualmente, pode-se calculá-la como a relação entre o tempo total de operação e a soma deste tempo com o tempo total de manutenção no período considerado.

Outra expressão de disponibilidade é mostrada abaixo, tendo a vantagem de ser obtida por meio de índices já determinados.

$$DISP = \frac{\sum TMEF}{\sum (TMEF + TMPR + TIMN)} \cdot 100, \text{ onde:}$$

TIMN – Tempos Ineficientes de Manutenção

Os índices de disponibilidade devem ter acompanhamento mensal, devendo ser comparados com os limites mínimos aceitáveis que definiram a necessidade de análise. Tal acompanhamento pode ser feito por meio de gráficos e/ou tabelas.

Custo de manutenção por Faturamento: relação entre o custo total da manutenção e o faturamento da empresa no período considerado.

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \cdot 100, \text{ onde:}$$

CMFT – Custo da manutenção por faturamento

CTMN – Custo total da manutenção

FTEP – Faturamento total da empresa

Custo da Manutenção Pelo Valor da Reposição: é a relação entre o custo total acumulado na manutenção de um determinado item e o valor da compra deste equipamento novo (valor de reposição).

$$CMVP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \cdot 100, \text{ onde:}$$

CMVP - Custo da manutenção pelo valor da reposição

CTMN – Custo total da manutenção

VLRP - Valor de reposição

Este item somente deve ser calculado para os itens mais importantes da empresa, que afetem o faturamento, a qualidade, a segurança e o meio ambiente desta. Justifica-se esse critério pelo fato de o índice trabalhar com valores acumulados, o que torna o processo demorado. Seu acompanhamento é feito por meio de gráfico de linha ou superfície, tendo como parâmetro o custo em doze meses, como pode ser observado na Figura IV-5.

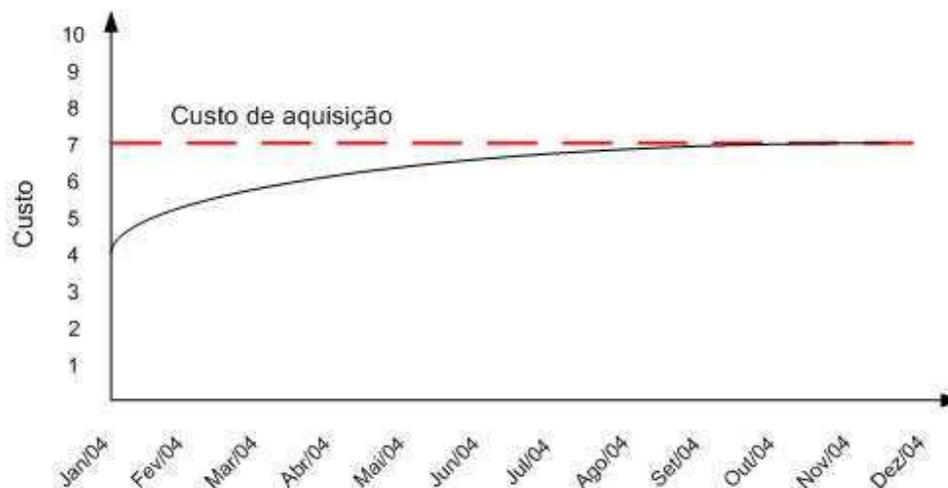


Figura IV-5 - Custo Acumulativo de manutenção pelo Valor do Equipamento

(Fonte: Cedido por Joacy Santos Junior)

Demais índices de manutenção

Para a compreensão e gestão da manutenção, além dos índices de classe mundial, outros, definidos em conformidade com as necessidades dos gestores de manutenção, são necessários. Alguns destes itens estão sugeridos neste trabalho, mas não se esgotam nele.

Quando um item a ser medido na manutenção for elaborado, este deve realmente ter representatividade para a gestão. Caso contrário, será apenas mais uma tarefa destinada aos mantenedores, não trazendo nenhum benefício à organização. A existência de índices irrelevantes pode ter, como consequência, a disseminação de descrédito de toda a gestão da manutenção.

Tempo médio Entre Manutenções Preventivas: é a divisão entre o produto do número de itens por seus tempos de operação e o número total de intervenções preventivas programadas no período observado.

$$TMEP = \frac{NOIT \cdot HROP}{NTMP}, \text{ onde:}$$

TMEF – Tempo médio entre manutenções preventivas

NOIT – Número de itens

HROP – Horas de operação

NTMP – Número total de manutenções preventivas

Tempo Médio Para Intervenções Preventivas: é a relação entre o tempo total de intervenção preventiva em certo um conjunto de itens e o número total de intervenções preventivas efetuadas nesses itens no período de tempo considerado.

$$TMMP = \frac{\sum HTMP}{NTIP}, \text{ onde:}$$

TMMP - Tempo médio para intervenções preventivas

NTIP - Número total de Intervenções preventivas

HTMP – Tempo total de manutenção preventiva

Taxa de Falha Observada: é a relação entre o número de itens com falha e o tempo total acumulado no período observado. Esta taxa está associada a intervalos de tempo e a condições particulares e o tempo total acumulado deverá ser a soma de todos os

intervalos de tempo nos quais o item individualmente ficou sujeito às condições específicas de funcionamento.

$$TXFO = \frac{NTMC}{\sum HROP}, \text{ onde:}$$

TXFO - Taxa de falha observada

NTMC – Número total de manutenção corretiva

HROP – Horas de operação

Taxa de Reparo: é a divisão entre o número total de itens com falha e o tempo total de intervenção corretiva nestes itens no período observado.

$$TXRP = \frac{NTMC}{\sum HTMC}, \text{ onde:}$$

TXRP - Taxa de reparo

NTMC – Número total de manutenção corretiva

HTMC – Tempo total de manutenção corretiva

Observando as expressões matemáticas dos dois últimos itens, vê-se que são inversos ao tempo médio para falha e ao tempo médio para reparo, respectivamente.

Não conformidade de Manutenção: é a divisão entre o total de manutenções previstas menos o total de manutenções executadas e o total de manutenções previstas no período.

$$NCFM = \frac{(NMPR - NMEX)}{NMPR} \cdot 100, \text{ onde:}$$

NCFM – Não conformidade de manutenção

NMPR – Número de manutenções programadas

NMEX – Número de manutenções extraordinárias

Sobrecarga dos Serviços de Manutenção: é a relação entre a diferença das horas de serviço executadas e previstas para um determinado período e a horas de serviço planejadas. Este acompanhamento pode ser feito diária, semana e/ou mensalmente.

$$SCSM = \frac{(\sum HMEX - \sum HMPR)}{\sum HMPR} \cdot 100, \text{ onde:}$$

SCSM - Sobrecarga dos serviços de manutenção

HMEX – Horas de serviço executadas

HMPR – Horas de serviços planejadas

Alívio de serviços de Manutenção: é a divisão entre a diferença das horas de serviço previstas e executadas para um determinado período e as horas de serviços previstos para o mesmo período. Este acompanhamento pode ser feito por dia, semana e mês. Sempre que possível, os tempos devem ser fornecidos em horas-homem.

$$ALSC = \frac{(\sum HMPR - \sum HMEX)}{\sum HMPR} \cdot 100, \text{ onde}$$

ALSC - Alívio de Serviços de Manutenção

HMEX – Horas de Serviço Executadas

HMPR – Horas de Serviços Planejadas

O três últimos índices podem ser usados, em conjunto, para a geração de um relatório informando as condições das reprogramações ou do cancelamento de atividades.

4.05 Ferramentas para o Aumento da Confiabilidade

Na busca pelo aumento de confiabilidade em um sistema, diversos são os recursos que podem ser utilizados. Dentre eles, destacam-se a manutenção centrada na confiabilidade, extensamente discutida neste projeto, a análise preliminar de riscos (APP), a análise quantitativa de riscos (AQR), as ferramentas para análise de falha, como árvore de falha, árvore de eventos, análise dos modos de falha e dos efeitos (FMEA), análise dos modos de falha, dos efeitos e da criticidade (FMECA) e HAZOP.

Segundo Araújo e Lima, técnicas de análise de risco, como as apresentadas acima, podem ser divididas em quatro grandes grupos, a saber: técnicas destinadas à identificação de riscos (como FMEA e HAZOP), técnicas destinadas à avaliação das frequências de ocorrência de cenários de acidentes (como árvores de falha e de evento), técnicas a serem usadas na avaliação das consequências de acidentes (como análises de vulnerabilidade e causa e consequência) e as técnicas a serem usadas em situações específicas (como AQR e análises de custo-benefício). A seguir, apresenta-se uma visão geral sobre dois dos recursos acima citados: FMEA e AQR, representando uma técnica qualitativa e outra quantitativa.

Análise do método e Efeito e Falha – FMEA

FMEA é um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece as recomendações de ações preventivas. É um processo formal, que utiliza especialistas dedicados a analisar as falhas e solucioná-las. (Kardec A.,2009)

É considerada uma técnica qualitativa, que pode ser de grande auxílio no aumento da confiabilidade, tanto pela identificação de modos de falha de equipamentos individualmente quanto pela estimativa dos efeitos sobre o sistema.

São três os níveis de FMEA: projeto, processo e sistema. No primeiro, o FMEA tem como foco a eliminação das falhas durante o projeto do equipamento. No processo,

o FMEA controla a forma como o equipamento é operado. No sistema, o FMEA observa as falhas potenciais e as restrições.

Sua aplicação estende-se à metodologia do RCM, sendo seus resultados agrupados em tabelas, como exemplificado na Figura IV-6. Sugere-se que o grupo do FMEA orientado para manutenção tenha, na fase de processo, engenheiros e técnicos de manutenção e de operação. Os grupos devem ser multidisciplinares pela complementaridade de conhecimentos, além de vantagens de decisões colaborativas. Está mais do que comprovado que esse tipo de grupo apresenta maior produtividade, além de eficiência do aspecto de custos. (Kardec A., 2009)

A melhor aplicação para o FMEA, na manutenção, é na análise de falhas, pois as ações necessárias podem ser tomadas a fim de evitar problemas futuros e prejuízos, antes mesmo que eles aconteçam.

FMEA							
Sub-sistema:		Referência:		Preparado por:		Data:	
Componentes	Modo de Falha	Efeitos sobre outros componentes	Efeitos sobre o sistema	Categoria de Freq.	Categoria de Sev.	Métodos de Detecção	Recomendações

Figura IV-6 – Típica planilha para elaboração da FMEA

(Fonte: ARAÚJO E LIMA, J.C.)

Análise Quantitativa de Risco - AQR

A análise quantitativa de risco (AQR) foi uma metodologia desenvolvida com o objetivo de gerenciar a segurança de processos em uma indústria, permitindo obter informações mais precisas, com um nível de detalhes exigido para certos tipos de estudos. Sistemas de gerenciamento, como códigos de engenharia, checklists e

gerenciamento de segurança em processos definem a proteção contra acidentes. Apesar de haver medidas que possam ser implementadas visando a prevenção, o risco de que acidentes sérios aconteçam não pode ser eliminado, somente diminuído. Esta análise é baseada em um método quantitativo, usado para estimar os riscos relacionados a cada evento e identificar as áreas em que é efetivamente possível reduzi-los, a um custo aceitável (AICHE, 1992).

A análise quantitativa de riscos em processos químicos (AQR PQ) é uma metodologia probabilística que foi desenvolvida tendo como base os procedimentos de NUREG². Danos agudos, potencialmente catastróficos, são a principal preocupação da AQR PQ, que se inicia pela identificação de cenários possíveis e avaliação de riscos pela definição de probabilidade de falha, de extensão das consequências e de impactos destas. O risco é definido em função da probabilidade (ou da frequência) e da consequência de um acidente em um cenário particular, gerando uma função que pode ser extremamente complexa, uma vez que inúmeras quantificações de riscos podem ser utilizadas para calcular as variáveis abaixo.

$$RISCO = F(s, c, f), \text{ onde:}$$

s = cenário hipotético

c = consequência(s) estimada(s)

f = frequência estimada

São sete os passos principais utilizados na filosofia da AQR PQ, englobando a análise e a avaliação do risco. Somam-se a eles outros seis passos, correspondentes ao gerenciamento do risco. (AICHE, 1992)

(a) **Análise do Risco**

1. Definição da sequência do evento em potencial e de seus incidentes.
2. Avaliação das consequências do incidente.

² Os procedimentos para a análise de risco probabilística foram definidos e estão disponíveis em *PRA Procedures Guide* (NUREG, 1983) e em *Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide* (NUREG, 1985), em inglês.

3. Estimativa da frequência do incidente em potencial.
4. Estimativa dos impactos em pessoas, no meio ambiente e em propriedades.
5. Estimativa de riscos.

(b) Avaliação do Risco

6. Identificação de fontes principais de risco e busca por processos com custos viáveis ou modificações na planta que possam ser implementados para reduzir os riscos.
7. Identificação e priorização de medidas que reduzam os riscos em potencial, somente se estes forem considerados excessivos.

(c) Gerenciamento de Riscos

8. Estimar conseqüências.
9. Modificar o sistema de forma a reduzir as conseqüências.
10. Estimar freqüências.
11. Modificar o sistema de forma a reduzir a freqüência do incidente.
12. Combinar frequência e consequência para estimar o risco.
13. Modificar o sistema de forma a reduzir o risco.

CAPÍTULO V. FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO

5.01 Técnicas de diagnóstico para manutenção

As técnicas de inspeção são de fundamental importância na identificação de defeitos e de causas de falhas em equipamentos e sistemas, sendo o conhecimento destas indispensável para as equipes de manutenção. Através de sua aplicação, pode-se definir o momento, a periodicidade das atividades de manutenção preventiva por tempo e a necessidade de intervenções corretivas, assegurando que a intervenção de manutenção a ser realizada surtirá o efeito necessário.

As inspeções guiam a definição dos valores de comissionamento dos equipamentos e instalações, importantes para a avaliação da tendência de falha dos equipamentos e sistemas.

Estas técnicas são a base da filosofia de manutenção preditiva, ou da manutenção por estado. A utilização dos procedimentos de teste, explicados adiante, determinam o melhor momento para a intervenção no equipamento ou no sistema, reduzindo o risco de uma intervenção desnecessária. As definições do plano de manutenção de uma instalação podem ser estabelecidas através do estudo histórico das inspeções realizadas no sistema que se está mantendo ou podem ser fonte de informação, sendo utilizadas como base para elaboração de planos de manutenção de sistemas semelhantes.

Inspeção visual

(a) Ensaio Visual

Sendo uma das mais antigas atividades feitas nos setores industriais, a inspeção realizada por meio do ensaio visual foi o primeiro ensaio não destrutivo aplicado a qualquer tipo de peça ou componente, estando freqüentemente associada a outros ensaios.

Permeada, hoje, por uma avançada tecnologia, a inspeção visual é um recurso eficaz na verificação de alterações dimensionais, de padrões de acabamento superficial

e de observação de descontinuidades superficiais em materiais e produtos em geral, tais como trincas, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade e montagem de sistemas.

Para a inspeção de peças ou componentes que não permitem o acesso direto para sua verificação, como o interior de blocos de motores, turbinas, bombas e tubulações, ou, ainda, quando não dispõe de tempo para abertura dos equipamentos, fibras óticas conectadas a espelhos ou microcâmeras de TV com alta resolução, aliadas a sistemas de iluminação, que permitem que a imagem apareça em oculares ou em monitores de vídeo, são utilizadas conforme pode ser observado na Figura V-1. Esta solução, simples e eficiente, é conhecida como técnica de inspeção visual remota.



Figura V-1 – Utilização de endoscópio para inspeção de equipamento

(Fonte: Disponível em <http://www.olympus-ims.com>)

Os tipos de equipamentos podem variar muito. O apresentado na Figura V-2, por exemplo, é um boroscópio rígido, especialmente desenvolvido para uso industrial,

possuindo camisa protetora externa resistente. Suas características, segundo o fabricante (Starttner & Cia Ltda), são ótima iluminação, grande definição de cores nas imagens, resistência a pressões de até 5 bar, a óleo, a combustível, a solventes e a temperaturas de até 150° C.

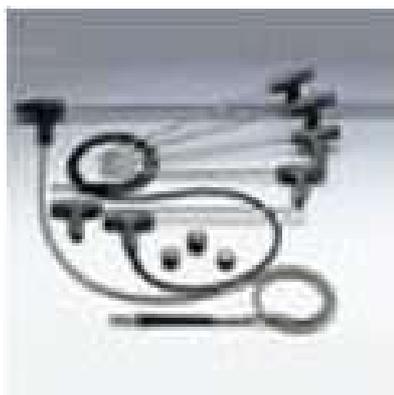


Figura V-2 –Boroscópio rígido

(Fonte: Disponível em <http://www.olympus-ims.com>)

Outros equipamentos, como os de vídeo endoscopia industrial apresentados na Figura V-3, possuem visor incorporado ao equipamento. Este equipamento possibilita a utilização da técnica de inspeção visual remota para avaliar regiões que sejam de difícil acesso e que não possam ser observadas sem o auxílio de lentes.



Figura V-3 – Equipamentos de Vídeo-Endoscopia Industrial

(Fonte: Disponível em <http://www.olympus-ims.com>)

A inspeção visual apresenta, como características:

- Melhor custo quando comparada a outros métodos;
- Dependência em relação a outras metodologias de inspeção, devendo ser utilizada como complemento destas;
- Necessidade de experiência e vivência do inspetor;
- Interferência da acuidade visual do inspetor;
- Limitação gerada pelos melhores resultados obtidos quando os equipamentos estão fora de operação.

Não existe nenhum processo industrial em que a inspeção visual não esteja presente. Sua simplicidade de realização e seu baixo custo operacional são características positivas deste método, que, por outro lado, requer uma técnica apurada e obedece a sólidos requisitos básicos, que devem ser conhecidos e corretamente aplicados. Esta técnica pode ser aplicada em componentes elétricos (caixas de transformação, transformadores, tanques de refrigeração), turbinas, pontes e viadutos (juntas de dilatação, corrosão das armaduras, qualidade da concretagem, condição geral da estrutura), edifícios (instalações de ar condicionado, cavidades em paredes, sistemas de ventilação, tetos falsos), trocadores de calor e condensadores, tubulações diversas e bombas centrífugas e compressores.

(b) Análise de vibrações

O ensaio para vibrações mecânicas é um método indispensável na detecção prematura de anomalias de operação derivado de problemas como falta de balanceamento das partes rotativas, desalinhamento de juntas e rolamentos, interferência, excentricidade, erosão localizada, ressonância, abrasão, folgas, dentre outros.

Diante da evolução das técnicas de diagnóstico de sintomas mecânicos, surgiu a implementação das de controle das condições dos motores elétricos, como a análise vibração e da condição de rolamentos. Antes que defeito ocorra, a obtenção um histórico de degradação da máquina, sujeita a desequilíbrios, desalinhamentos, folgas, desapertos é crucial. Estes fatores contribuem para o aumento das vibrações, que podem vir a provocar ressonâncias e aumento da carga do motor. As vibrações, por sua vez, aceleram os processos de degradação dos componentes da máquina, principiando o processo que leva à avaria. O medidor de vibrações tem um papel essencial na monitorização do estado do motor, levando em conta três eixos de vibração possível, conforme mostrado na Figura V-4.

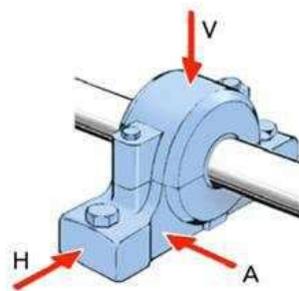


Figura V-4 – Eixos de vibração

(Fonte: AFONSO, J., Vibrometria em Manutenção)

Onde:

- H - Horizontal: análise de desequilíbrios no plano de rotação da máquina.
- V - Vertical: análise de fraqueza estrutural no plano de rotação da máquina.
- A - Axial: análise de defeito ao longo do veio e falhas de alinhamento.

Para a análise de vibrações, equipamentos de medição portáteis podem ser utilizados. Estes são equipamentos destinados apenas à medição de vibração. Para que a análise seja realizada, é necessária a utilização de um software que lê e mostra os resultados buscados diante das informações coletadas em campo.

Alguns equipamentos classificam o problema em níveis de severidade e retornam recomendações. Estes permitem acesso rápido a informação e devem ser destinados a identificação os problemas prioritários. A utilização de tal equipamento, apresentado na Figura V-5, é justificada pela conseqüente redução do tempo e do custo dos trabalhos de manutenção.



Figura V-5 – Equipamento de análise de vibração

(Fonte: Disponível em <http://www.fluke.com>)

Alguns equipamentos podem, ainda, ser acoplados a outros equipamentos, de forma a monitorar a vibração durante todo o processo. Esses são capazes de capturar continuamente o deslocamento, a velocidade e a aceleração de máquinas industriais, enviando o sinal de saída a uma unidade eletrônica de monitoração ou diretamente a um controlador lógico programável. Devido à sua estrutura compacta e à sua robustez, pode ficar em ambientes agressivos, insalubres ou em áreas classificadas como ambientes explosivos. Este equipamento deve ser utilizado em máquinas rotativas, geradores, bombas, turbinas, motores, ventiladores e demais equipamentos industriais que necessitem de proteção contra vibração excessiva. É um método particularmente útil na monitoração de operação mecânica de máquinas rotativas, na detecção e no reconhecimento da deterioração de rolamentos, no estudo de mau funcionamento típico em maquinaria com regime cíclico de trabalho, laminadores e prensas e na análise de vibrações dos processos de trincamento, principalmente em turbinas e outras máquinas rotativas ou vibratórias.

O método de análise de vibrações permite grande confiabilidade na operação de instalações e na interrupção de uma máquina em tempo hábil para substituição de peças desgastadas.

(c) **Radiografia, Radioscopia e Gamagrafia**

O método está baseia-se na mudança da absorção, pela peça, durante a penetrância da radiação (Raios-X ou Gama), causada pela presença de descontinuidades internas. Se a radiação passa pelo material, deixa sua imagem gravada em um filme, um sensor radiográfico ou em um intensificador de imagem, conforme observado na Figura V-6.

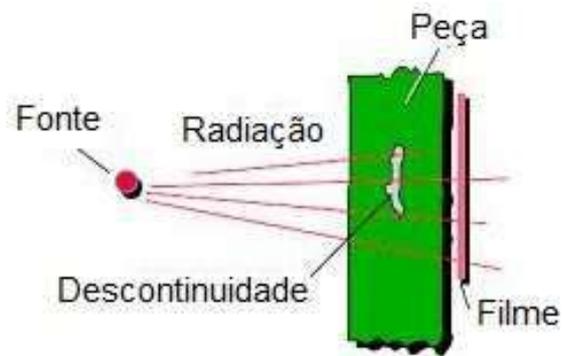


Figura V-6 – Técnica geral de ensaio de radiografia industrial

(Fonte: A radiologia Industrial, Ricardo Andreucci)

Tendo sido o primeiro método de ensaio não destrutivo introduzido na indústria, a radiografia é usada para descobrir e quantificar defeitos internos em determinados materiais, apresentando boa sensibilidade para defeitos volumétricos. Na Figura V-7, pode ser observado um equipamento, utilizado em inspeções de campo, que produz irradiação.



Figura V-7 – Irradiador gama específico para fontes de selênio-75

(Fonte: Andreucci, R., A radiologia Industrial)

Seu campo de aplicação, bastante vasto, inclui o ensaio em soldas de chapas para tanques, oleodutos, navios, plataformas offshore; grande aplicação em peças fundidas, principalmente em peças de segurança na indústria automobilística, como porta-eixos, carcaças de direção, rodas de alumínio, airbags, assim como blocos de motores e de câmbio; produtos moldados, forjados, materiais compostos, plásticos, componentes para engenharia aeroespacial, dentre outros.

O raio-X industrial abrange, hoje, técnicas diversas, a saber:

- Radiografia: é a técnica convencional, via filme radiográfico, com gerador de raio-X por ampola de metal cerâmica. As imagens de uma posição de teste e de suas respectivas descontinuidades internas são mostradas em um filme mostra.
- Gamagrafia: mesma técnica, tendo como fonte de radiação um componente radioativo chamado "isótopo radioativo", que pode ser o irídio, o cobalto ou o selênio, este de uso mais recente.
- Radioscopia: a peça é manipulada à distância, dentro de uma cabine à prova de radiação, proporcionando uma imagem instantânea de toda peça em movimento, portanto tridimensional, através de um intensificador de imagem acoplado a um monitor de TV. Imagens da radioscopia, agrupadas digitalmente de modo tridimensional em um software, possibilitam um efeito de corte, mostrando as descontinuidades em três dimensões, sendo considerada uma tomografia industrial.

Com o avanço da tecnologia, a radiografia passou a ser realizada em processos dinâmicos, como no movimento de projétil ainda dentro do canhão, no fluxo metálico durante o vazamento na fundição, na queima dos combustíveis dentro dos mísseis e em operações de soldagem.

(d) Ultrassom

Baseando-se no fenômeno da reflexão de ondas acústicas ao encontrarem obstáculos dentro de um material, este ensaio detecta descontinuidades possíveis

internas. Um pulso ultrassônico é gerado e transmitido por de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos ultrassônicos refletidos por uma descontinuidade ou pela superfície oposta da peça são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados em uma tela LCD ou em um tubo de raios catódicos (TRC) em um o aparelho como o da Figura V-8.



Figura V-8 – Medidos de espessura digital ultrassônicos

(Fonte: Disponível em www.geinspectiontechnologies.com)

As dimensões reais de um defeito interno podem ser estimadas com uma razoável precisão na maioria das vezes, fornecendo informações que definem se a peça ou componente em questão será aceito ou rejeitado, tendo como base critérios de aceitação da norma aplicável. O ultrassom é também utilizado para medir espessura e para determinar corrosão com extrema facilidade e segurança de resultados confiáveis.

Inúmeras são as aplicações deste ensaio - em soldas, laminados, forjados, fundidos, ferrosos e não ferrosos, ligas metálicas, vidro, borracha e materiais compostos -, sendo, por isso, utilizado em indústrias de base (usinas siderúrgicas) e de transformação (mecânicas pesadas), indústria automobilística, transporte marítimo, ferroviário, rodoviário, aéreo e aeroespacial.

Mais recentemente, utilizou-se o ultrassom na manutenção industrial, na detecção preventiva de vazamentos de líquidos ou gases, de falhas operacionais em sistemas elétricos (efeito corona) e de vibrações em mancais e rolamentos.

O ensaio ultrassônico é, certamente, o método não destrutivo mais utilizado, sendo o que apresenta o maior crescimento na aplicação para a detecção de descontinuidades internas nos materiais.

(e) **Partículas Magnéticas**

O ensaio por partículas magnéticas tem, por objetivo, detectar descontinuidades superficiais e sub-superficiais em materiais ferromagnéticos, tais como: trincas, junta fria, inclusões, gota fria, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos e segregações. Um exemplo de equipamento destinado à realização destes testes é apresentado na Figura V-9.



Figura V-9 – Equipamento para ensaio de partículas magnéticas MAGNAFLUX (Kit de partícula magnética)

(Fonte: Disponível em www.magnaflux.com)

Este método baseia-se na geração de um campo magnético que percorre toda a superfície do material ferromagnético. As linhas magnéticas do fluxo induzido desviam-se de sua trajetória ao encontrar uma descontinuidade superficial ou sub-superficial, criando uma região com polaridade magnética, altamente atrativa à partículas magnéticas. Após magnetização da peça, aplicam-se as partículas magnéticas sobre esta. Elas serão atraídas à localidade da superfície que contiver uma descontinuidade, formando uma clara indicação de defeito. Na Figura V-10 é mostrado o momento da execução deste procedimento.

As aplicações mais comuns acontecem a fundidos de aço ferrítico, forjados, laminados, extrudados, soldas, peças que sofreram usinagem ou tratamento térmico (porcas e parafusos), trincas por retífica e outras em materiais ferrosos.



Figura V-10 – Execução do ensaio de partícula magnética

(Fonte: Disponível em <http://www.abende.org.br>)

Para que as discontinuidades sejam detectadas, é imprescindível que elas sejam "interceptadas" ou "cruzadas" pelas linhas do fluxo magnético induzido, de forma que a peça deve ser magnetizada em pelo menos duas direções defasadas de 90°. Para isto, utilizam-se os yokes (ver figura 26), máquinas portáteis com contatos manuais ou equipamentos de magnetização estacionários para ensaios seriados ou padronizados. O uso de leitores óticos representa um importante avanço na interpretação automática dos resultados.

(f) **Líquido penetrante**

É utilizado para detectar defeitos de rupturas não visíveis a olho nu, como trincas superficiais e porosidade, por exemplo. Sua aplicação se dá, principalmente, em camadas de revestimento, soldas e em zonas afetadas por intenso calor.

Um fluido penetrante é aplicado sobre a superfície do material, penetrando no defeito. Esperado o tempo de penetração, este fluido é removido e um outro é aplicado, tendo a função de limpar a superfície. Os defeitos tornam-se, então, visíveis, sendo facilmente observáveis pelos pontos de identificação formados.

CrITÉRIOS de aceitação devem ser utilizados para que se possa definir se as indicações são ou não aceitáveis.

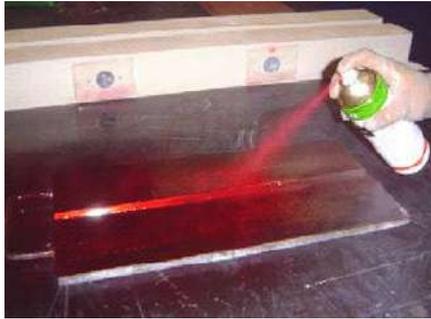


Figura V-11 - Aplicação de líquido penetrante, com utilização de spray revelador

(Fonte: Disponível em <http://www.emccomponentes.com.br/END.asp>)

(g) Correntes Parasitas

Os equipamentos de teste que se utilizam correntes parasitas têm a função de detectar discontinuidades ou características físico-químicas da amostra. A presença de discontinuidades superficiais e sub-superficiais, assim como a de mudanças nas características físico-químicas ou na estrutura do material (composição química, granulação, dureza, profundidade de camada endurecida e tempera), alteram o fluxo das correntes parasitas, possibilitando a sua detecção.

O ensaio por correntes parasitas pode ser aplicado a metais ferromagnéticos e não ferromagnéticos, a produtos siderúrgicos (tubos, barras e arames), a autopeças (parafusos, eixos, comandos, barras de direção, terminais, discos e painéis de freio), dentre outros. Utiliza-se do método, também, para detectar trincas de fadiga e corrosão em componentes de estruturas e em tubos instalados em trocadores de calor, caldeiras e similares.

É um método limpo e rápido de ensaio não destrutivo, mas exige tecnologia e prática em sua realização e interpretação dos resultados obtidos. Apresenta baixo custo operacional e possibilita automatização a altas velocidades de inspeção.

(h) Termografia

É uma técnica que estende a visão humana através do uso do espectro infravermelho, tendo, atualmente, um papel muito importante na área de manutenção preditiva. Através da sua utilização, é possível eliminar muitos dos problemas de produção, evitando falhas elétricas, mecânicas e fadiga de materiais.

Sistemas elétricos

A termografia infravermelha é uma ferramenta essencial na manutenção preditiva de equipamentos elétricos, possibilitando a identificação de problemas potenciais antes que estes ocorram e possibilitando a realização de ajustes ou correções mesmo antes da próxima parada programada. Além disso, é uma técnica totalmente segura, não oferecendo risco nenhum a equipe que a realiza ou que acompanha a inspeção, devido à distância de segurança em que o trabalho é realizado.

Seu uso em subestações, torres de energia, transformadores e linhas de transmissão é uma parte crítica de qualquer programa de manutenção preditiva, já que tem o papel crucial de identificar potenciais falhas graves e catastróficas antes de elas ocorrerem.

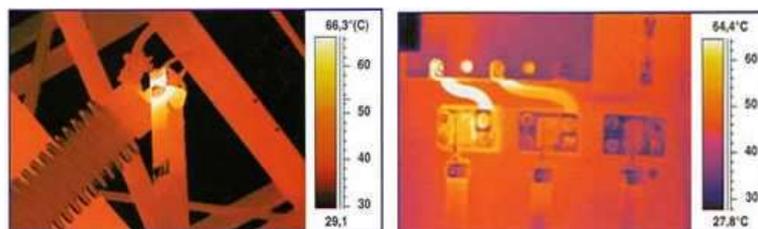


Figura V-12 – Termografia de equipamentos elétricos

(Fonte: Cedida por Joacy Santos Junior)

Sistemas mecânicos

Diversas são as aplicações da termografia em equipamentos mecânicos, incluindo a identificação de problemas em potencial em equipamentos rotativos,

sistemas de refrigeração, caldeiras e ventilação. A termografia auxilia na implementação de um programa de manutenção.

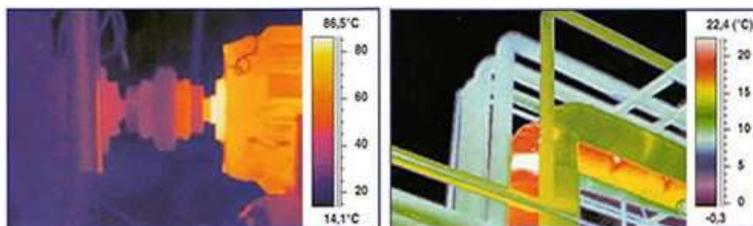


Figura V-13 – Termografia em equipamentos mecânicos

(Fonte: Cedida por Joacy Santos Junior)

Controles de processo

De forma a manter o máximo desempenho dos equipamentos envolvidos em seu processo industrial, o uso de termografia no programa de manutenção preditiva é essencial. Alguns exemplos de inspeção termográfica em processos industriais são medição de variação de temperatura em rolos de papel, verificação de refratários em fornos, secadores, laminações, máquinas de plástico, entre outros.

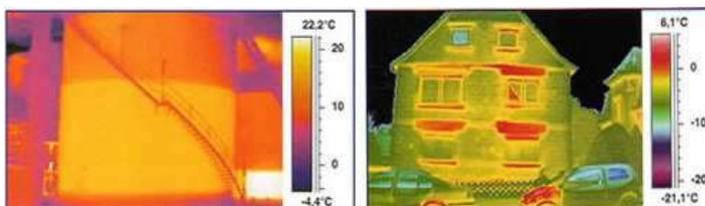


Figura V-14 – Termografia em processo

(Fonte: Cedida por Joacy Santos Junior)

(i) Teste hidrostático

Os Testes hidrostáticos (TH's) são aplicados em vasos de pressão e tem como principal objetivo verificar se haverá vazamentos ou rupturas. São realizados com os equipamentos fora de operação, através de pressurização com fluido de teste (água

com teor de cloretos controlados e inibidor de corrosão) em pressões superiores às pressões de projeto.

Comumente essas pressões se encontram na ordem de 1,5 vezes a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA). Elabora-se então uma condição operacional mais rígida, para garantir que, em pressões mais baixas, não haverá falhas ou vazamentos.

Pelo fato do teste hidrostático ser aplicado em pressões acima das pressões de operação e de projeto, sua realização está muitas vezes sujeita a falhas, como a ocorrência de pequenos vazamentos, o crescimento de interrupções das estruturas típicas das soldas e até mesmo rupturas desastrosas durante a sua realização.

No Brasil, a realização de TH's periódicos em vasos de pressão é uma exigência da lei, disposta na Norma Regulamentadora NR-13.

O Teste Hidrostático apresenta vários benefícios, como confirmação da ausência de vazamentos e da resistência às condições operacionais normais (a baixa pressão). Também proporciona o alívio das tensões residuais de soldagem da estrutura testada.

CAPÍTULO VI. MANUTENÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

Tomando como referências as determinações da NR-13, por definição, esferas são vasos de pressão. A manutenção destes equipamentos é determinante para a garantia da segurança das instalações, das pessoas e do meio ambiente.

A norma determina a necessidade de se assegurar algumas condições que estão intimamente relacionadas às atividades exercidas pelas equipes de manutenção, que devem estar cientes de que o atendimento a determinadas tarefas específicas de manutenção está condicionado ao atendimento de determinações legais, como as presentes na NR-13. Na Tabela VI-I, estão citadas algumas das que devem ser atendidas pelos serviços de manutenção.

O item 13.9 da norma supracitada, “Segurança na manutenção de vasos de pressão”, trata especificamente das exigências na manutenção destes vasos. No entanto, outros itens possuem especificações que podem influenciar nas atividades de manutenção. Estes serão apresentados na Tabela VI-I, conforme aparecem no texto da NR-13.

Lá está determinada a necessidade de treinamento para os profissionais que tem a função de operar sistemas de vasos de pressão. Contudo, não há referência de treinamento obrigatório para os profissionais que irão executar a manutenção destes equipamentos. É indispensável que a empresa providencie treinamento para os profissionais de manutenção destes equipamentos, de forma que ele possam ter embasamento teórico para julgar, de forma confiável, se suas ações ou omissões podem ou não ocasionar risco para os vasos, e conseqüentemente, para o sistema como um todo.

Tabela VI-I – Passagens da NR -13

Item da NR 13	Tarefa de manutenção	Consequência	Comentários
<p>13.6.2 Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à PMTA, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui; b) dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso; c) instrumento que indique a pressão de operação. 	<p>Inspeção e calibração de válvulas.</p>	<p>Perda da contenção, explosão, incêndios, dentre outros.</p>	<p>O não atendimento para este item pode gerar a interdição da instalação e paralisação do equipamento</p>
<p>13.6.3 Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) fabricante; b) número de identificação; c) ano de fabricação; d) pressão máxima de trabalho admissível; e) pressão de teste hidrostático; f) código de projeto e ano de edição. 	<p>A execução de limpeza e proteção da plaqueta quando for realizado retoque de pintura</p>	<p>Perda das informações e identificação do equipamento</p>	<p>O não atendimento para este item pode gerar o risco de pagamento de multas definidas na NR 28</p>
<p>13.8.2 Os instrumentos e controles de vasos de pressão devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais.</p>	<p>Inspeção e calibração de instrumentos</p>	<p>Perda do controle do processo.</p>	<p>O não atendimento para este item pode gerar o risco de pagamento de multas</p>

Tabela VI-I – Passagens da NR -13

			definidas na NR 28
13.8.2.1 Constitui condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem seus sistemas de controle e segurança.	Instalação de artifícios, como <i>bypass</i> de proteção ou outro artifício que neutralizem seus sistemas de controle e segurança, para manter o equipamento operando.	Perda do controle do processo.	Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28
13.8.11 Constitui condição de risco grave e iminente a operação de qualquer vaso de pressão em condições diferentes das previstas no projeto original, sem que: a) seja reprojetoado, levando em consideração todas as variáveis envolvidas na nova condição de operação; b) sejam adotados todos os procedimentos de segurança decorrentes de sua nova classificação no que se refere à instalação, operação, manutenção e inspeção.	A atuação da equipe de manutenção sem supervisão pode ocasionar um desvio nas condições de operação do equipamento	Risco de acidente e não conformidade perante a NR 13.	Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28
13.9.1 Todos os reparos ou alterações em vasos de pressão devem respeitar o respectivo código de projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a: a) materiais;	Antes de ser programada qualquer reparo no equipamento devem ser realizados cálculos e controles mediante os	Risco de acidente.	Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na

Tabela VI-I – Passagens da NR -13

<p>b) procedimentos de execução; c) procedimentos de controle de qualidade; d) qualificação e certificação de pessoal.</p>	<p>parâmetros do código construtivo.</p>		<p>NR 28</p>
<p>13.9.2 "Projetos de Alteração ou Reparo" devem ser concebidos previamente nas seguintes situações: a) sempre que as condições de projeto forem modificadas; b) sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança.</p> <p>13.9.3 O "Projeto de Alteração ou Reparo" deve: a) ser concebido ou aprovado por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2; b) determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal; c) ser divulgado para funcionários do estabelecimento que possam estar envolvidos com o equipamento.</p>	<p>Antes de ser programada qualquer reparo no equipamento; devem ser realizados cálculos e controles mediante os parâmetros do código construtivo.</p> <p>Deve haver profissional habilitado responsável pela execução do "Projetos de Alteração ou Reparo"</p>	<p>Risco de acidente.</p>	<p>Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28</p>
<p>13.9.4 Todas as intervenções que exijam soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, levando em conta o disposto no item 13.10.</p>	<p>Uma das tarefas importantes nos serviços de manutenção em vasos de pressão é o teste hidrostático que tem a função de garantir a estanqueidade do vaso, logo sua segurança.</p>	<p>O não atendimento deste item pelo serviço de manutenção pode ocasionar a perda de estanqueidade.</p> <p>Este teste deve ser acompanhado de profissional habilitado.</p>	<p>Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28</p>

Tabela VI-I – Passagens da NR -13

<p>13.9.4.1 Pequenas intervenções superficiais podem ter o teste hidrostático dispensado, a critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2.</p>	<p>Este item especifica as condições de dispensa do teste hidrostático em pequenos reparo nos equipamentos. Contudo, somente pode ser utilizado com a autorização de um profissional habilitado.</p>		<p>Este profissional será responsável civil e criminalmente por qualquer evento acontecido neste vaso que tenha nexó com o reparo executado.</p>
<p>13.9.5 Os sistemas de controle e segurança dos vasos de pressão devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva.</p>	<p>Neste item, fica clara a relação direta entre as atividades de manutenção e a segurança.</p>		
<p>13.10.3 A inspeção de segurança periódica, constituída por exame externo, interno e teste hidrostático, deve obedecer aos seguintes prazos máximos estabelecidos (vide norma).</p>	<p>A periodicidade das inspeções nos vasos de pressão é determinada por norma.</p>	<p>As inspeções devem ser documentadas de forma a tornar possível a evidencia e a vinculação do responsável por sua execução</p>	<p>Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28</p>
<p>13.10.5 A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Sempre que o vaso for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança; b) Quando o vaso for submetido a reparo ou alterações importantes, capazes de alterar sua condição de segurança; c) Antes do vaso ser recolocado em funcionamento, quando permanecer inativo por mais de 12 meses; d) Quando houver alteração de local de instalação do vaso. 	<p>A necessidade de intervenções extraordinária em casos específicos é ressaltada na norma</p>	<p>As inspeções devem ser documentadas de forma a tornar possível a evidencia e a vinculação do responsável por sua execução</p>	<p>Pode gerar uma catástrofe ou o risco de pagamento de multas definidas na NR 28</p>

6.01 Tarefas de manutenção

Buscando consolidar os diversos conceitos abordados neste projeto e aproximar a teoria à prática, explicitando os procedimentos mais comumente aplicados a ambientes industriais, os cenários apresentados abaixo foram desenvolvidos. Nele constam os eventos e as ações esperadas.

Para tanto, utilizou-se como base um parque de esferas genérico, composto por quatro esferas para o armazenamento de GLP, uma bomba e os devidos equipamentos de segurança (válvulas, controladores). Aplicaram-se algumas das tarefas de manutenção cabíveis, com objetivo de se evitar a ocorrência de possíveis acidentes, como BLEVE.

Cenário hipotético I:

Um novo vaso de pressão é comprado para a indústria. O fabricante entrega o equipamento e toda a documentação a ele referente, inclusive o comprovante dos testes realizados antes da entrega. A instalação é concluída com êxito. Pode-se colocá-lo em uso imediato?

De acordo com o Artigo 13.10.2 da NR-13, exames e teste realizados nas dependências do fabricante não são válidos, já que avarias podem acontecer durante o transporte, o armazenamento e a montagem do equipamento. Assim sendo, a inspeção de segurança inicial somente poderá ser realizada quando este estiver em seu local de instalação definitivo, garantindo a hígidez da estrutura e minimizando o potencial de falha do equipamento. São práticas de manutenção aplicáveis:

- Teste hidrostático, salvo em casos específicos, como quando a fundação ou a sustentação do vaso não é suficientemente resistente para agüentar o peso da água usada no teste, ou quando há revestimento interno, por exemplo. Nestes casos, pode-se substituir este teste por outras técnicas que garantam segurança equivalente, tais como ensaio com líquido penetrante ou de estanqueidade.

- Exame interno, salvo casos em que não este não seja possível, como quando o vaso não possui bocal de visita ou abertura que permita a passagem de uma pessoa ou quando apresenta um diâmetro que impossibilite a entrada de uma pessoa.
- Exame externo, salvo casos em que este não seja possível, como quando o equipamento é enterrado.

Cenário hipotético II:

Se uma bomba com finalidade de enviar produto à esfera for esquecida ligada, constituindo um modo de falha humana, poderá haver sobre-enchimento da esfera. Caso falhe a válvula alinhada com o sistema de tocha, responsável pelo alívio neste caso, pode ocorrer vazamento que, diante de uma fonte de ignição, pode gerar incêndio e progredir para o BLEVE.

As tarefas de manutenção aplicáveis para diminuir a possibilidade de ocorrer o cenário são:

➤ BOMBA

- Treinamento contínuo dos operadores, respeitando as devidas normas e ressaltando as especificações de cada equipamento.

Para que a bomba esteja em plenas condições de funcionamento, algumas boas práticas são recomendadas, como a verificação periódica do óleo, com troca deste quando necessário. Como exemplo, citam-se as determinações para a bomba helicoidal serie WHT – Weatherford: primeira troca com 300 horas de trabalho e trocas posteriores com 2000 horas de trabalho ou 12 meses. Ainda, pode-se utilizar a análise de vibração para garantir o balanceamento das partes rotativas do motor, o acerto das folgas e o alinhamento de juntas e rolamentos.

➤ VÁLVULAS DE ALÍVIO

- Inspeção visual, buscando alterações estruturais visíveis nas válvulas.
- Calibração das válvulas, de forma a garantir que estas abrirão na pressão desejada (que deve ser igual ou inferior à PMTA).
- Inspeção por meio de radiografia, buscando descontinuidades não visíveis a olho nu.

➤ CONTROLADORES DE PRESSÃO

- Calibração dos controladores, garantindo que estes enviem sinais confiáveis para os devidos fins. Um controlador descalibrado interfere na real pressão de abertura das válvulas, podendo ocasionar sobrepressão e sobreenchimento.

➤ VASOS DE PRESSÃO

- Inspeção de espessura de chapa de revestimento por meio de ultrassom.
- Verificação de soldas utilizando-se a radiografia.

De acordo com a NR-13, todas as intervenções que exijam soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático.

➤ REDE DE INCÊNDIO

- Inspeção dos sistemas de incêndio em conformidade com as determinações da NR-23, bem como a adoção de referências normativas nacionais e internacionais.

Cenário hipotético III:

Os desgastes na unidade causados pelo tempo e uso podem gerar falhas estruturais e ocasionar vazamentos pontuais que, mediante aumento brusco de temperatura, podem gerar incêndio e evoluir para o BLEVE. Deve-se, também, observar a fadiga, as deformações estruturais, os impactos, os ruídos e as vibrações em válvulas, vasos e tubulação.

São tarefas de manutenção adequadas ao cenário:

➤ ESTRUTURAS DE SUSTENTAÇÃO

- Ensaio visual, procurando identificar pontos de corrosão, por exemplo.
- Uso da radioscopia, verificando a integridade das estruturas em três dimensões.

➤ JUNTAS E CONEXÕES

- Pode ser realizado o teste de estanqueidade

Devem ser monitoradas e inspecionadas em conformidade com as referências do fabricante e/ou com as determinações das normas técnicas.

➤ VÁLVULAS

- As análises de ruído e vibração podem ser feitas.

Devemos avaliar a temperatura da válvula e ruídos anormais. Frequentemente, encontram-se os dois sintomas juntos. Consideramos que a válvula falha quando há vazamento de gás/ líquido com ela fechada ou quando há fluxo reverso, dependendo do tipo de válvula considerada.

➤ INSTRUMENTOS E CONTROLES

Devem ser mantidos calibrados, mantendo-se as boas condições operacionais.

Cenário hipotético IV

Esferas, tubulações e válvulas expostas a chuva, sol e vento podem sofrer corrosão. Depósito de GLP acumulam água no fundo, podendo, também, sofrer corrosão. Ainda, erosão, abrasão, trincas e desgastes, decorrentes das situações acima citadas, são fatores que podem ocasionar rompimentos dos equipamentos, com vazamentos que, expostos a fontes de ignição, geram incêndio e BLEVE

As tarefas de manutenção aplicáveis são:

- Medição de espessura da carcaça dos vasos de pressão por ultrassom.
- Detecção de trincas pela realização de ensaio por partículas magnéticas.
- Determinação da porosidade dos equipamentos pelo uso de líquido penetrante e spray revelador.
- Busca por defeitos em tubulações por inspeção visual remota.

Caso alguma falha seja detectada o reparo deve ser realizado, evitando a ocorrência de acidentes e, principalmente, de BLEVE.

Cenário hipotético V

Observação da temperatura nas válvulas, vaso e tubulação, tentando-se identificar aumento desta, que poderia indicar um defeito.

São tarefas de manutenção adequadas:

- Análise da condução de calor por termografia.

- Análise da perda de calor utilizando tintas termossensíveis.
- Análise da integridade do isolamento por ensaio visual.

Podem, ainda, serem usados termômetros de contato, fitas indicadoras de temperatura e termômetros infravermelhos.

Cenário hipotético VI

A unidade faz uma parada programada, para que a manutenção periódica possa ser realizada. São tarefas cabíveis:

- Inspeção interna da esfera, se possível.
- Inspeção de conexão de mangote, com verificação da estanqueidade do mesmo. Esta tarefa deve ser realizada através da pressurização da conexão com água até a PMTA para que vazamentos possam ser identificados.

Cenário hipotético VII

Em um parque de esferas, a atividade de manutenção era realizada de maneira muito ineficiente, o que gerava riscos cada vez maiores para o parque, aumentando a probabilidade da ocorrência de acidentes, como incêndios e BLEVE. Na busca pela redução de erros de manutenção, um grupo de engenheiros e técnicos foi formado e chegou as seguintes conclusões:

- Os procedimentos de execução de tarefas de manutenção devem ser previamente estabelecidos, bem como sua periodicidade.
- A operação de unidades onde existam líquidos inflamáveis ou combustíveis deve ser realizada por profissional com treinamento de segurança na operação de unidades de processo.
- O treinamento de equipes de manutenção deve ser realizado de acordo com procedimentos reconhecidos.

- O atendimento a normas técnicas nacionais e internacionais pertinentes (API, NR, ABNT, etc) deve ser uma prioridade.

Capítulo VII. CONCLUSÃO

O projeto abordou o tema de manutenção em parque de esferas de GLP, que é um assunto complexo, apresentando diversas interligações com outras especialidades da engenharia. Discursar sobre o caráter multifacetário da profissão é importante, incentivando novas gerações de engenheiros a se preparem para enfrentar o mercado de trabalho com o máximo de informação possível.

A pesquisa, com o objetivo de elaborar os fundamentos teóricos, foi de suma importância para fundamentar as determinações sobre as tarefas de manutenção a serem aplicadas no sistema. O conhecimento das práticas e políticas de manutenção foi fundamental para a elaboração do projeto e para o desenvolvimento profissional e atuação como engenheiro, com um perfil focado para enfrentar desafios do desenvolvimento tecnológico e demandas de mercado.

Para o bom exercício das atividades do engenheiro, a identificação dos aspectos ligados à segurança é essencial. O estudo de acidentes é uma ferramenta indispensável para que sejam evitados erros iguais ou parecidos no futuro. Tendo contato com normas de segurança do MTE, mais especificamente com a NR-13, pôde-se verificar o valor do conhecimento do requisito legal na definição das tarefas de manutenção de uma instalação ou de um equipamento. Além disso, para o atendimento de tal norma, observou-se que é necessário o conhecimento de várias outras, de caráter técnico, tanto nacionais quanto internacionais.

As ferramentas de análise e gerenciamento de riscos se mostram essenciais para fundamentar a tomada de decisão na busca pelos recursos utilizados pela equipe de manutenção, garantindo a confiabilidade dos sistemas exigidos pela organização. O estudo de cenários de acidente é uma ferramenta que pode definir o momento e a melhor forma de atuação na manutenção para preservação da função do equipamento, garantindo um bom funcionamento do sistema como um todo.

O projeto pode ser aproveitado como base para realização de um estudo de caso real, onde se tenham parâmetros bem definidos do sistema a ser estudado.

BIBLIOGRAFIA

1. ABNT: NBR 5462: 1994 - Confiabilidade e Manutenibilidade MTE: NR-3: 2011 - Embargo ou Interdição.
2. AS/NZS 4360: 1999 - *Risk Management*
3. MTE: NR – 13: 2008 – Caldeiras e Vasos de Pressão.
4. MTE: NR – 20: 1978 - Líquidos Combustíveis e Inflamáveis.
5. MTE: NR – 28: 2012 - Fiscalização e Penalidades.
6. ANDREUCCI, R. **A radiologia Industrial**, 5ª Ed. São Paulo, Abende, 2002.
7. AFONSO, J., **Vibrometria em Manutenção**. Disponível em: <<http://www.centralartigos.com/tecnologia/vibrometria-em-manutencao.html>>. Acesso em 23 de Fev. de 2012
8. AICHE: Center for chemical process safety of the american institute of chemicals engineers. **Guidelines for hazards evaluation procedures: with worked examples**, 2nd ed. New York, 1992.
9. ARAÚJO E LIMA, J.C. de (Coord.). **Manual de análise de risco e de confiabilidade**. Rio de Janeiro: Petrobras/Reduc.
10. BAPTISTA, M. T. F, **O desastre do dirigível Hindenburg. Último ato dos Zeppelins**. Disponível em < <http://histatual.blogspot.com/2010/06/hindenburg.html>>, 2010. Acesso em 17 de Fev. de 2012
11. FLORIDO, J. A. A. La explosión de gases de San Juanico. Net., 2003. Disponível em: <<http://www.proteccioncivil-andalucia.org/Documentos/SanJuanico.htm>>. Acesso em: 15 de Fev. de 2012
12. HADDAD, E. Bleve. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/artigos/artigos/bleve.pdf>. Acesso em 04 de Jan de 2012.
13. KARDEC, A. e NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**, 3ª ed., Rev. e ampl. Rio de Janeiro, Qualitymark : 2009.

14. LAFRAIA, J.R.B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualymark, 2001.
15. MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**, 2nd ed. London: Butterworth Heinemann, 1997.
16. Pozzer, R. TPM – Manutenção Produtiva Total, 2011. Disponível em: <<http://pauloamaral.blog.br/tpm-manutencao-produtiva-total/>>. Acesso em: 24 de Fev. de 2012
17. SANSON, F e RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e manutenção industrial, 1^a ed. Rio de Janeiro: Campus - Elsevier, 2009, v. I.
18. TAVARES, L.A. **Administração Moderna da Manutenção**, edição. Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações, 1999.
19. ABENDI: Associação brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção. **Ensaio não destrutivo para vasos de pressão**. Disponível em <<http://www.abende.org.br>>. Acesso em 16 de jan. de 2012
20. ANP: Agência Nacional do Petróleo. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em 08 de jan. de 2011
21. BRGAS Distribuidora. Disponível em: <<http://www.brgas.com.br/site/a-brgas/>>. Acesso em 18 de Fev de 2012.
22. E.M.C Componentes. Disponível em: <<http://www.emccomponentes.com.br/END.asp>>. Acesso em 17 de Fev. de 2012
23. FLUKE Brands. Disponível em: <<http://www.fluke.com/>>. Acesso em: 16 de Fev. de 2012.
24. GE Measurement & Control. Disponível em: <<http://www.ge-mcs.com/en/inspection-technologies.html>>. Acesso em 17 de Jan. de 2012
25. INMETRO. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC0009246.pdf>>. Acesso em 28 de fev. de 2012.
26. **La catastrophe de Feyzin** (in French) – Disponível em: <<http://espace.yh.free.fr/vecu2/index.html>>. Acesso em 20 de jan. de 2012

27. MAGNAFLUX. Disponível em: < www.magnaflux.com>. Acesso em 17 de Jna. De 2012.
28. OLYMPUS. Disponível em:< <http://www.olympus-ims.com/pt/>>. Acesso em> 5 de Jan. de 2012.
29. SINDICATO DE CAXIAS. **Acidente com 42 mortos nunca será esquecido.** Net. Disponível em: <http://www.sindipetrocaxias.org.br/sind/index.php?option=com_content&view=article&id=641:acidente-com-42-mortos-nunca-seraesquecido&Itemid=68>. Acesso em 20 de jan. de 2011
30. WEATHERFORD. **Manual de instalação e manutenção** – bomba helicoidal, série WTH, Disponível em: <http://www.rodrize.com.br/docs/man_hel_wht.pdf>. Acesso em: 20 de fev. de 2012