

Bruno Emanuel Fernandes Iuan

**Definição de parâmetros de confiabilidade de sistemas de
condicionamento de ar do tipo self-contained**

**Trabalho de conclusão do
curso de graduação do Departamento
de Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo.**

**Orientador(es): Prof. Alberto
Hernandez Neto e Gilberto de Souza
Martha**

São Paulo

2004

Bruno Emanuel Fernandes Iuan

**Definição de parâmetros de confiabilidade de sistemas de
condicionamento de ar do tipo self-contained**

**Trabalho de conclusão do
curso de graduação do Departamento
de Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo.**

**Orientador(es): Prof. Alberto
Hernandez Neto e Gilberto de Souza
Martha**

**São Paulo
2004**

Bruno Emanuel Fernandes Iuan

**Definição de parâmetros de confiabilidade de sistemas de
condicionamento de ar do tipo self-contained**

São Paulo

**"O que os homens de fato querem
não é o conhecimento, mas a certeza."**

(Bertrand Russel)

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores por suas diretrizes e sugestões para o desenvolvimento deste trabalho e a todas as pessoas que tornaram possível a sua realização, especialmente a Alexandre Marcelo F. Lara , Alaor S. Ronchi e Chan Kong Fong.

À minha família por todo o apoio e atenção a mim dedicados durante todos estes anos.

RESUMO

Estratégias de manutenção que visam minimizar a probabilidade de falhas, operando dentro de custos otimizados, são comuns na maioria das grandes empresas, em virtude da crescente preocupação com a melhoria da confiabilidade dos produtos. Contudo ainda são raros os estudos relacionados à definição de parâmetros que possam ser utilizados na avaliação da eficácia da estratégia de manutenção adotada.

Diante disto, este trabalho propõe, através de um estudo de caso, a utilização da metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA) na definição das melhores estratégias de manutenção, e, conseqüentemente, na avaliação das atuais políticas de manutenção adotadas para sistemas de condicionamento de ar tipo “self-contained”.

ABSTRACT

Maintenance strategies that aim at minimize failure probability while driving reasonable costs, are common at big companies, because of crescent preoccupation with product reliability improvement. Although studies related to definition of parameters, that could be used in evaluation of maintenance strategies efficacy, are seldom.

Based on that, this work proposes, through a case study, the utilization of FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) methodology in definition of the best maintenance strategies and consequently in evaluation of actual maintenance politics that are used for self contained air conditioning systems.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1.	Origens das falhas em máquinas e instalações.....	2
2.2.	Análise das Falhas	2
2.3.	Avaliação das falhas	3
2.3.1.	Tempo Médio entre Falhas.....	3
2.3.2.	Confiabilidade	3
2.3.3.	Disponibilidade.....	4
2.4.	O Papel da Manutenção	4
2.4.1.	Classificação básica dos serviços de manutenção	5
2.4.2.	Aspectos importantes relacionados à manutenção	6
2.4.3.	Análise do ciclo de vida do produto	7
2.5.	Guia para uma política de conservação preventiva	9
3.	A UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DO EFEITO E MODO DE FALHA NA DETERMINAÇÃO DA MELHOR ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO	11
3.1.	Aspectos gerais da metodologia de Análise do Efeito e Modo de Falha....	11
3.2.	Histórico.....	11
3.3.	Tipos de FMEA	12
3.4.	Aplicação da FMEA	12
3.5.	Metodologia de aplicação	13
4.	ESTUDO DE CASO	16

4.1.	Contexto do estudo de caso.....	16
4.2.	Características gerais dos sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained.....	18
4.2.1.	Moto-compressor.....	20
4.2.2.	Condensadores.....	21
4.2.3.	Evaporadores.....	21
4.2.4.	Ventiladores.....	21
4.3.	Metodologia de coleta de dados.....	22
4.4.	Dados coletados.....	24
5.	RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES.....	28
5.1.	Aplicação da metodologia de FMEA.....	28
5.2.	Avaliação dos custos envolvidos na manutenção corretiva dos sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained.....	33
5.3.	Considerações sobre os resultados obtidos.....	34
5.4.	Considerações sobre aplicação da metodologia de FMEA na definição de parâmetros de confiabilidade.....	35
6.	CONCLUSÕES.....	37
7.	BIBLIOGRAFIA.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da frequência dos tempos de funcionamento sem avarias.....	6
Figura 2 – Distribuições do tempo de falha	7
Figura 3 – Custos associados com manutenção.....	8
Figura 4 – “Curva da banheira” típica.	9
Figura 5 – Exemplo de um formulário típico utilizado no FMEA.	13
Figura 6 – Modelo de um self-contained.	20
Figura 7 – Formulário para pesquisa de falha.	23
Figura 8 - Número de atendimentos de manutenção corretiva ao longo dos meses de análise.	25
Figura 9 – Número de ocorrências e seu valor acumulado em função do modo de falha.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escalas de avaliação para aplicação do FMEA.	15
Tabela 2 – Modos de falhas com maior incidência e número total de ocorrências.	26
Tabela 3 – Aplicação de FMEA para os sistemas de condicionamento de ar.	32
Tabela 4 – Tabela de preços.	33

1. INTRODUÇÃO

A ausência de parâmetros como referência para a avaliação da qualidade e eficácia do serviço de manutenção realizado em aparelhos de condicionamento de ar, e os custos significativos envolvidos nesta atividade, tem motivado nos últimos anos à busca de informações para a elaboração de um plano de manutenção adequado que possa ser utilizado como modelo na avaliação dos serviços de manutenção executados nos dias de hoje.

Diante disto, o presente trabalho tem como objetivo determinar através da metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), parâmetros de confiabilidade em sistemas de condicionamento de ar, que possam ser utilizados não apenas na definição de um plano de manutenção adequado, ou seja, um plano de manutenção simples e econômico capaz de reduzir tanto a incidência de falhas nestes sistemas quanto os seus efeitos, além de minimizar os custos de todo processo, como também na avaliação da qualidade do serviço de manutenção realizado.

A metodologia da Análise do Tipo e Efeito de Falha (FMEA) é uma ferramenta que, em princípio, procura identificar todos os possíveis modos de falhas a fim de através da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria diminuir a probabilidade de falha no produto ou processo. Desta forma, através de sua utilização é possível avaliar os reais benefícios das atuais políticas de manutenção adotadas.

Como fonte de dados para o desenvolvimento do estudo de caso presente neste trabalho foram utilizadas as informações disponibilizadas por agências bancárias localizadas na Grande São Paulo das falhas apresentadas em seus sistemas de condicionamento de ar (do tipo self-contained) ao longo do ano de 2004.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Origens das falhas em máquinas e instalações

As origens das falhas de máquinas e instalações estão nos defeitos apresentados pelos seus componentes. A máquina invariavelmente falhará quando algum de seus componentes vitais estiver danificado; portanto, o primeiro passo a fim de reduzir a probabilidade de falhas e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade do equipamento é identificar as diferentes causas das falhas de cada um dos componentes.

Segundo Drapinski (1979) as origens das falhas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Falhas no projeto. A máquina ou algum dos seus componentes não corresponde às necessidades do serviço. Por exemplo: dimensões, rotação e condições de operação;
- Falhas na fabricação (de componente). Por exemplo: trincas, concentrações de tensões e folgas exageradas ou insuficientes;
- Instalação imprópria. Por exemplo: sobrecarga e exposição do equipamento a elementos externos não previstos no projeto;
- Manutenção imprópria. Por exemplo: falta de lubrificação e perda de eficiência da máquina devido à sujeira;
- Operação imprópria. Por exemplo: sobrecarga, choques e vibrações.

2.2. Análise das Falhas

A análise das falhas de peças tem como objetivo principal identificar a natureza da falha, a fim de definir as melhores estratégias de manutenção que possibilitarão evitar a sua repetição.

A análise das falhas não se restringe a examinar a peça que apresentou defeito, é necessário também realizar um levantamento de como a falha ocorreu, quais foram os sintomas, se já aconteceu antes, quanto tempo trabalhou a máquina

desde a sua aquisição ou a sua última reforma, quais foram os serviços anteriores, qual era o operador e por quanto tempo, qual a condição geral da máquina, e todo e qualquer dado que possa contribuir para encontrar a causa da ocorrência.

2.3. Avaliação das falhas

Segundo Slack et al. (1997) existem 3 formas principais de avaliar as falhas, são elas:

- Tempo Médio entre Falhas. (frequência com que ocorre uma falha);
- Confiabilidade (probabilidade de uma falha ocorrer);
- Disponibilidade (período de tempo disponível sem a ocorrência de falhas).

Tempo Médio entre Falhas e Confiabilidade são diferentes formas de medir a tendência de uma máquina, ou um de seus componentes, falhar. Disponibilidade é um indicativo das consequências da ocorrência de uma falha.

2.3.1. Tempo Médio entre Falhas

O Tempo Médio entre Falhas é o tempo médio de funcionamento até a ocorrência de uma falha, que está associado diretamente à frequência de ocorrências de falhas. Através deste índice é possível prever a ocorrência das falhas e, conseqüentemente, estimar o intervalo de tempo necessário para a realização de intervenções de manutenção preventiva.

$$TMEF = \frac{\text{horas de operação}}{\text{número de falhas}}$$

2.3.2. Confiabilidade

A confiabilidade está relacionada com a probabilidade de uma máquina, ou de um de seus componentes, falhar.

A importância de qualquer falha específica é determinada parcialmente pelo efeito que tem no desempenho de todo o equipamento. Isto, por sua vez, depende da forma pela qual são relacionadas às partes do equipamento que estão sujeitas a

falhas. Se os componentes do equipamento forem todos interdependentes, uma falha em um componente individual pode causar a falha de todo o equipamento. Por exemplo, se um sistema interdependente tem n componentes, cada qual com sua própria confiabilidade $R_1, R_2, \dots, R_{n-1}$ e R_n , a confiabilidade de todo o equipamento, R , é dada por:

$$R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n$$

onde,

R_i = confiabilidade do componente i .

2.3.3. Disponibilidade

Disponibilidade é a relação entre o tempo médio entre falhas e o período de tempo no intervalo considerado. A avaliação deste índice permite prever o período de tempo disponível da máquina sem a ocorrência de falhas.

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

onde,

D = disponibilidade;

$TMEF$ = tempo médio entre falhas;

$TMDR$ = tempo médio de reparo.

2.4. O Papel da Manutenção

As atividades de manutenção são executadas com a finalidade de assegurar um estado satisfatório, previamente especificado, de equipamentos e instalações. Desta forma o papel da manutenção pode ser definido como o conjunto de atividades direcionadas para garantir, ao menor custo possível, a máxima disponibilidade do equipamento, prevenindo a ocorrência de falhas.

2.4.1. Classificação básica dos serviços de manutenção

2.4.1.1. Manutenção corretiva

As manutenções corretivas são intervenções realizadas depois que a falha já ocorreu e tem, portanto, um caráter emergencial. As manutenções corretivas não são programadas, são executadas sempre que ocorrem paradas inesperadas da máquina por falha e ocupam, portanto, um período de tempo que originalmente estava programado para que a máquina estivesse em funcionamento.

2.4.1.2. Manutenção preventiva

A manutenção preventiva consiste na substituição de peças em períodos regulares. Tem o caráter preventivo de intervir em máquinas e equipamentos antes da ocorrência de uma falha inesperada. São intervenções realizadas sistematicamente, a intervalos de tempos fixos, independente da condição do equipamento, e portanto não implicam na sua interrupção inesperada.

A periodicidade das intervenções é estabelecida mediante um estudo dos vários elementos que intervêm no funcionamento do equipamento, visando detectar a causas da falha e as medidas a serem adotadas para assegurar a máquina em condições aceitáveis de funcionamento, em antecipação a ocorrência da falha.

2.4.1.3. Manutenção preditiva

Parte do pressuposto de que, do ponto de vista econômico, parar uma máquina ou equipamento para executar intervenções de manutenção preventiva quando o mesmo ainda apresenta condições de operar com desempenho satisfatório, não é um procedimento admissível e deveria ser evitado.

A manutenção preditiva consiste em intervir na máquina para mantê-la com desempenho aceitável apenas na iminência de uma falha, que é determinada através do monitoramento de algumas características do equipamento (por exemplo: temperatura de operação, vibração, etc.).

2.4.2. Aspectos importantes relacionados à manutenção

2.4.2.1. Distribuição de falhas em função do tempo

De acordo com Buffa (1977) os dados relativos à distribuição de falhas em função do tempo são básicos para o estabelecimento de quaisquer regras gerais relativas à manutenção. As distribuições de falhas em função do tempo mostram a frequência com que as máquinas apresentam períodos de trabalho isentos de manutenção para um determinado número de horas de funcionamento. A Figura 1 apresenta as possíveis distribuições de falhas em função do tempo. A diferença entre estas distribuições é determinada pelas características do equipamento. A curva *a* da Figura 1 é típica de máquinas que apresentam poucos componentes em que as falhas ocorrem em intervalos aproximadamente iguais. Neste caso, a maior parte das falhas tem lugar próximo ao tempo médio de falha T_m .

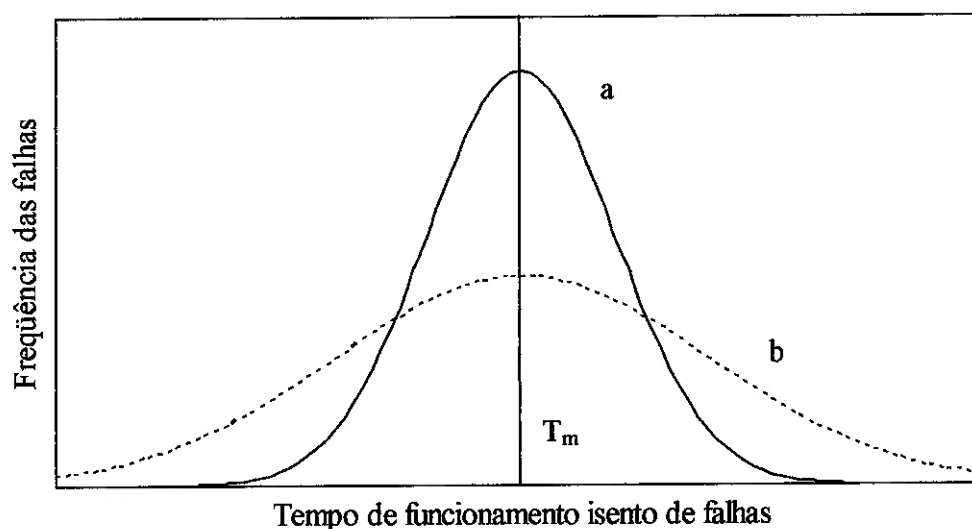


Figura 1 – Distribuição da frequência dos tempos de funcionamento sem avarias.

Se a máquina for mais complexa, tendo muitos componentes, cada um destes componentes apresentará uma distribuição de falhas; conseqüentemente, a distribuição de falhas resultante da máquina apresentará uma maior variabilidade, já

que a máquina poderá deixar de funcionar desde que qualquer um dos seus componentes apresente algum defeito. Neste caso, algumas avarias podem ocorrer logo após o último reparo. Por isso, para o mesmo valor médio T_m do tempo de falha, encontraremos uma maior variabilidade de distribuição de falhas em função do tempo, tal como é indicado na curva *b* da Figura 1.

Nos modelos estabelecidos para a manutenção, as distribuições da frequência dos tempos de funcionamento sem avarias são freqüentemente representadas por meio de distribuições de porcentagens de períodos de falhas, que excedem um dado período de funcionamento, como na Figura 2. **Distribuições do tempo de falha**

As curvas neste caso são obtidas simplesmente subtraindo sucessivamente as porcentagens que ocorrem para diferentes valores dos períodos de funcionamento isentos de falhas.

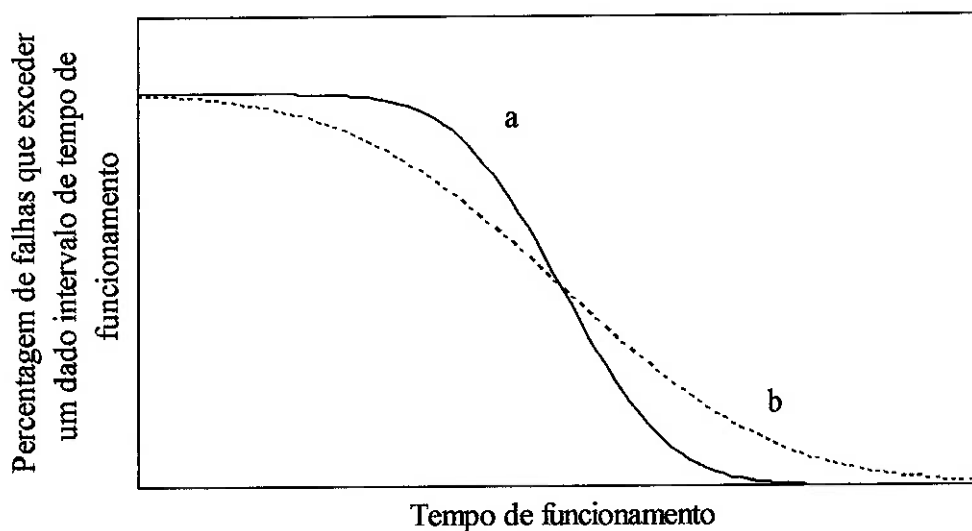


Figura 2 – Distribuições do tempo de falha

Na Figura 2, a curva *a* apresenta uma baixa variabilidade em relação ao tempo médio de falha T_m , enquanto que a curva *b* apresenta alta variabilidade.

2.4.3. Análise do ciclo de vida do produto

A análise do ciclo de vida envolve a avaliação do custo de um equipamento ou sistema durante seu período de vida, sendo que o custo do ciclo de vida é afetado significativamente por problemas de confiabilidade como frequência de falha e tempo para reparo, que estão associados ao custo total de paradas.

Na maioria dos casos planeja-se a manutenção incluindo certo nível de manutenção preventiva regular, o que resulta em uma probabilidade razoavelmente baixa, mas finita, de falhar. Normalmente, quanto mais freqüentes os episódios de manutenção preventiva, menor será a probabilidade de ocorrerem falhas. O equilíbrio entre manutenção preventiva e manutenção corretiva é estabelecido a fim de minimizar o custo total de paradas. Manutenção preventiva pouco freqüente apresentará custos relativamente baixos para a sua realização, mas resultará em uma alta probabilidade (e, portanto, custo) de manutenção corretiva. Inversamente, uma manutenção preventiva muito freqüente será dispendiosa de realizar, mas reduzirá o custo de realização da manutenção corretiva.

Como mostra a Figura 3, ao aumentar o nível de manutenção preventiva, ou seja, a confiabilidade do equipamento, os custos associados com manutenção preventiva aumentam ao passo que os custos com manutenção corretiva diminuem. A curva de custo total de manutenção apresenta um ponto mínimo em um nível ótimo de manutenção preventiva, assim, num nível de confiabilidade ótima, o custo total do produto é mínimo.

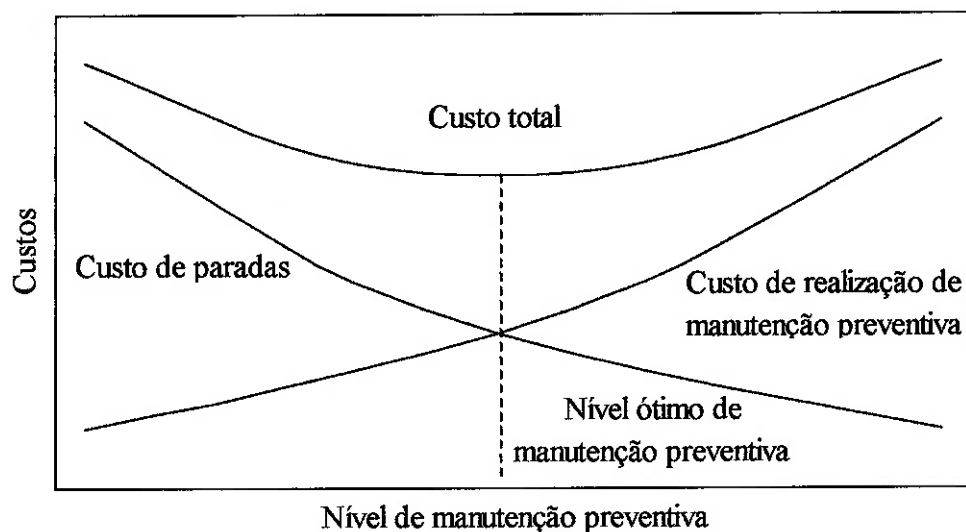


Figura 3 – Custos associados com manutenção.

Segundo Monga (1998), a maioria dos equipamentos apresenta um comportamento de falhas característico, conhecido como a “curva da banheira” mostrada na Figura 4. Estes equipamentos apresentam altas taxas de falhas no início do uso, normalmente devido a peças defeituosas ou uso inadequado. Essa taxa de falha inicial reduz com o tempo e apresenta um comportamento constante durante a vida útil do equipamento. Após este período, as taxas de falhas tendem a aumentar rapidamente com o desgaste natural dos seus componentes.

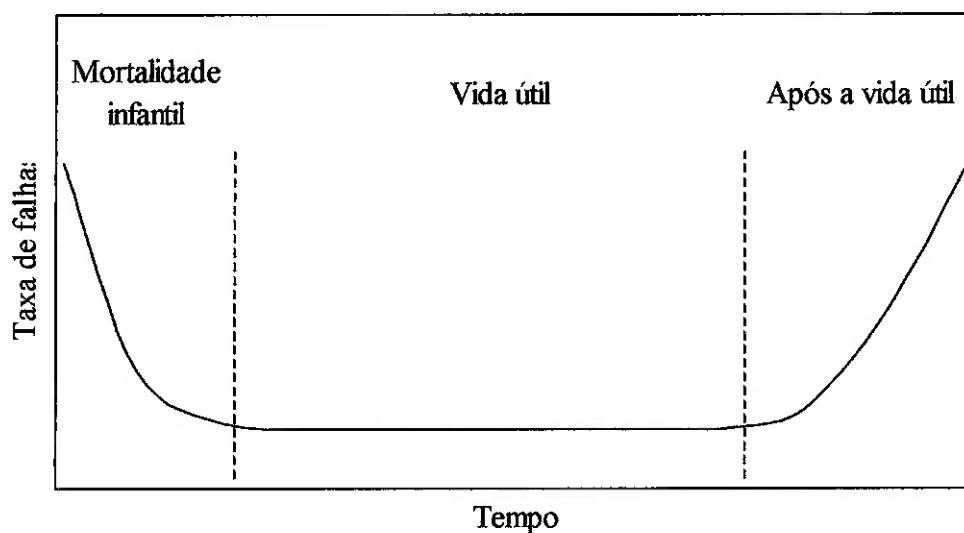


Figura 4 – “Curva da banheira” típica.

2.5. Guia para uma política de conservação preventiva

Algumas considerações acerca da política de manutenção preventiva podem ser feitas através da análise simples de alguns aspectos. Primeiro, a manutenção preventiva é geralmente aplicável a máquinas cujas distribuições dos tempos de avaria tem variabilidade baixa, como a da curva α da Figura 1. A razão é que a variabilidade baixa significa que podemos prever com bastante precisão quando pode ocorrer a maioria das falhas. Um período normal de manutenção preventiva pode, então, ser estabelecido, o qual antecipa com bastante precisão possíveis falhas.

Igualmente importante, contudo, é a relação entre o tempo de manutenção preventiva e o tempo de reparo. Caso se leve o mesmo tempo tanto para a manutenção como para o reparo da máquina, não há vantagem na manutenção preventiva, que tem como objetivo principal aumentar o período em que a máquina pode trabalhar. Nestas condições, a máquina apresenta um tempo mínimo na sua paralisação para manutenção se esperarmos simplesmente pela sua falha para repará-la.

Contudo o efeito dos custos de paralisação da máquina pode modificar as conclusões estabelecidas, já que a solução ótima é a que torna mínimo não apenas o custo de paralisação, mas também o custo referente à manutenção preventiva e reparos, estabelecendo um equilíbrio entre eles.

3. A UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DO EFEITO E MODO DE FALHA NA DETERMINAÇÃO DA MELHOR ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

3.1. Aspectos gerais da metodologia de Análise do Efeito e Modo de Falha

A metodologia de Análise do Efeito e Modo de Falha, conhecida como FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo, diminuindo a sua probabilidade de falhar, ou seja, aumentando a sua confiabilidade.

Este conceito de qualidade, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, já que, a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de manutenção causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor por privá-lo do uso do produto por determinado tempo. Além disso, em situações em que as falhas podem apresentar consequências drásticas ao consumidor a confiabilidade não é somente desejável, mas também essencial.

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir as falhas de produtos e processos existentes ou mesmo para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos.

3.2. Histórico

A utilização da ferramenta FMEA teve início na indústria aeronáutica, em meados dos anos 60, com o objetivo de lidar com questões de segurança. Alguns anos depois foi adotada também na indústria química para o aperfeiçoamento dos processos e prevenção de acidentes ou incidentes com consequências negativas. O fator segurança, em ambos os casos, foi determinante para o desenvolvimento desta ferramenta.

Recentemente a indústria automobilística começou a utilizar o FMEA na área de melhoramento de processos e na área de qualidade, tornando-a parte da metodologia dos 6 Sigma. O enfoque desta ferramenta, neste caso, é a prevenção de falhas em processos e produtos antes da sua ocorrência ou a sua identificação numa fase em que os custos de alterações sejam viáveis.

3.3. Tipos de FMEA

Esta metodologia pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto do produto como do processo. As etapas e a maneira de realização da análise são as mesmas, ambas diferenciando-se somente quanto ao objetivo. Assim, as análises FMEA's são classificadas em dois tipos:

- FMEA de produto. Neste tipo são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrentes do projeto. É comumente denominada também de FMEA de projeto.
- FMEA de processo: Na FMEA de processo são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não-conformidades do produto com as especificações do projeto.

Há ainda um terceiro tipo, menos comum, que é a FMEA de procedimentos administrativos. Nela analisam-se as falhas potenciais de cada etapa do processo com o mesmo objetivo que as análises anteriores, ou seja, diminuir os riscos de falha.

3.4. Aplicação da FMEA

A análise FMEA é usualmente aplicada nas seguintes situações:

- Para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Para diminuir a probabilidade de falhas potenciais (ou seja, que ainda não tenham ocorrido) em produtos ou processos já em operação;

Basicamente, os passos a serem seguidos a fim de aplicar a metodologia da FMEA num dado processo ou produto são os seguintes:

1. Identificar todas as partes componentes dos produtos ou processos;
2. Listar todas as formas possíveis segundo as quais os componentes poderiam falhar (os modos de falha);
3. Identificar os efeitos possíveis das falhas (tempo parado, segurança);
4. Identificar todas as causas possíveis das falhas para cada modo de falha;
5. Avaliar a probabilidade de falha, a severidade dos efeitos da falha e a probabilidade de detecção. (A Tabela 1 ilustra escalas de avaliação que podem ser usadas para quantificar estes três fatores);
6. Calcular o NPR multiplicando as três avaliações entre si;
7. Instigar ação corretiva que minimizará a falha dos modos de falhas que mostraram um alto NPR;
8. Calcular o novo valor do NPR após a implementação das ações recomendadas.

A. Ocorrência de falhas

Escala	Descrição	Definição
10	Probabilidade muito alta de ocorrência de falhas	Mais de 1 ocorrência por dia ou uma probabilidade de mais de 3 ocorrências em 10 eventos passados
9		1 ocorrência a cada 3 ou 4 dias ou uma probabilidade de 3 ocorrências em 10 eventos passados
8		1 ocorrência por semana ou 5 ocorrências em 100 eventos passados
7	Alta probabilidade de ocorrência	1 ocorrência por mês ou 1 ocorrência em 100 eventos passados
6		1 ocorrência a cada 3 meses ou 3 ocorrências em 1000 eventos passados
5		1 ocorrência a cada 6 meses ou 1 ocorrência em 10000 eventos passados
4	Probabilidade moderada de ocorrência	1 ocorrência por ano ou 6 ocorrências em 100000 eventos passados
3		1 ocorrência a cada 1 ou 3 anos ou 6 ocorrências em 10 milhões de eventos passados
2		1 ocorrência a cada 3 ou 5 anos ou 2 ocorrências em 1 bilhão de eventos passados
1	Probabilidade remota de ocorrência	1 ocorrência em mais de 5 anos ou menos de 2 ocorrências em 1 bilhão de eventos passados

B. Severidade das falhas

Escala	Descrição	Definição
10	Severidade catastrófica	A falha pode causar ferimentos sérios ou morte
9	Severidade muito alta	A falha afeta a segurança
8	Severidade alta	A falha torna o equipamento ou sistema inoperável ou não apto para uso
7		A falha causa um alto grau de insatisfação no cliente
6		A falha compromete o desempenho de parte do sistema
5	Severidade moderada	A falha causa perda de performance e insatisfação no cliente
4	Severidade baixa	A falha causa uma pequena perda de performance
3		A falha proporciona um pequeno desconforto ao cliente sem perda de performance do produto ou processo
2		A falha implica em pequenos defeitos no produto ou processo, mesmo não sendo notada pelo cliente
1		A falha não apresenta efeito notável no desempenho do sistema

C. Detecção das falhas

Escala	Descrição	Definição
10	Probabilidade remota	O produto não é inspecionado ou o defeito causado pela falha não é detectável
9		O produto é amostrado, inspecionado e liberado baseado em níveis de qualidade aceitáveis previamente estabelecidos nos planos de amostragem
8	Probabilidade baixa	O produto é aceito baseado nos defeitos da amostra
7		O produto é inspecionado
6	Probabilidade moderada	É utilizado algum Controle Estatístico de Processo (CEP) no processo ou produto em sua inspeção final
5		
4		
3	Probabilidade alta	Todo o produto é inspecionado
2		
1	Probabilidade muito alta	O defeito é óbvio ou existe alguma inspeção automática com calibrações regulares e manutenção preventiva

Tabela 1 – Escalas de avaliação para aplicação do FMEA.

4. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentada a aplicação da ferramenta de Análise do Modo e Efeito de Falha em sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained para determinação dos parâmetros de confiabilidade a serem utilizados na avaliação dos serviços de manutenção realizados.

Inicialmente é apresentada a contextualização do estudo e, logo em seguida, a caracterização dos self-containers, a metodologia de coleta de dados para a aplicação de FMEA, os dados coletados que foram utilizados no estudo de caso e a aplicação da ferramenta FMEA para a determinação dos parâmetros de confiabilidade.

4.1. Contexto do estudo de caso

A escolha do sistema de condicionamento de ar do tipo self-contained para a aplicação da ferramenta FMEA está relacionada à ausência de estudos referentes as melhores práticas de manutenção a serem adotadas para este equipamento.

Atualmente, apesar de existirem diversas estratégias de manutenção que visam reduzir a incidência de falhas nos self-containers, não há parâmetros de confiabilidade que permitam avaliar a eficácia destas estratégias e nem estudos capazes de determinar a viabilidade econômica da execução ou não de uma determinada política de manutenção.

Além disto, o fato destes equipamentos possuírem poucos componentes faz com que a sua distribuição de falhas apresente baixa variabilidade, sendo possível prever com bastante precisão quando ocorrerá a maioria das falhas. Desta forma resultados extremamente satisfatórios quanto ao aumento da confiabilidade do equipamento podem ser obtidos através da adoção de uma política de manutenção preventiva.

Para o desenvolvimento do estudo de caso foram avaliados entre os meses de março a outubro de 2004 cerca de 200 self-containers distribuídos em 123 agências bancárias da Grande São Paulo.

Nestes equipamentos a política de manutenção adotada possui um caráter basicamente preventivo e contempla as seguintes atividades programadas:

Atividades mensais

- Verificar base e fusíveis;
- Verificar seqüências de partida;
- Verificar conexões e terminais elétricos;
- Verificar contatos das chaves;
- Observar visor de líquido;
- Verificar o nível de óleo dos compressores;
- Verificar resistência do cárter;
- Verificar vazamentos de gás e/ou óleo;
- Verificar tensão e desgaste das correias;
- Verificar mancais e rolamentos;
- Verificar filtro secador;
- Limpar os filtros de ar;
- Limpar o sistema de drenagem;
- Conferir a regulação do termostato ambiente;
- Verificar as serpentinas;
- Verificar condensadores;
- Observar ruídos e vibrações;

Atividades trimestrais

- Verificar reles térmicos;
- Limpar o condicionador;
- Verificar circuito frigorífico com detector de vazamento;
- Lubrificar acomplamentos;
- Lubrificar mancais do motor;
- Lubrificar mancais dos ventiladores;
- Reapertar parafusos dos mancais, suportes e bases;
- Verificar pressostatos de alta;
- Verificar pressostatos de baixa;
- Verificar pressostato de óleo;
- Verificar válvula de expansão;

- Verificar válvula de serviço;
- Verificar válvula de solenóide;
- Verificar válvula de fluxo;
- Verificar atuação das chaves de fluxo;

Atividades semestrais

- Verificar resistência do isolamento do motor do ventilador;
- Verificar resistência do isolamento do motor do compressor;
- Revisar terminais e contatos elétricos, contadores e reles;
- Verificar operação dos controles de acionamento;
- Verificar a limpeza de máquinas;
- Verificar a limpeza dos difusores;
- Testar registros hidráulicos;
- Eliminar pontos de oxidação;
- Verificar e reparar, se necessário, os revestimentos internos;
- Verificar lonas de acoplamento;
- Verificar vedação das tampas do gabinete;
- Ajustar dispositivos de segurança e controle;
- Verificar eletrodutos e fiação;
- Verificar presença de fontes poluentes ou fontes de microorganismos.

4.2. Características gerais dos sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained

Os aparelhos condensadores compactos, conhecidos como self-containers, são unidades monoblocos, que apresentam amplo uso em sistemas de condicionamento de ar e, de um modo geral, podem ser divididos em três partes ou seções:

- Seção do compressor (ou grupo compressor, no caso de um grupo por condensação de água);
- Seção do evaporador (sistema de expansão direta);
- Seção do ventilador (geralmente do tipo centrífugo).

O grupo compressor localiza-se na parte inferior do monobloco, a seção do evaporador no meio, enquanto que a caixa de ventilação está montada na parte superior do aparelho.

Esta disposição facilita a distribuição do ar tratado, seja diretamente, por meio de uma câmara de distribuição do ar insuflado (conhecida como plenum), seja por intermédio de uma rede de calhas de insuflamento ligadas diretamente à caixa de ventilação.

O conjunto das três seções é montado numa armação metálica comum, que se apresenta sob a forma de um gabinete ou monobloco. Todas as paredes e espaços internos são isolados térmica e acusticamente, a fim de contribuir para um rendimento ideal do conjunto.

Os componentes que integram estes aparelhos são:

- Polia regulável;
- Motor do ventilador de insuflação;
- Isolação termo-acústica;
- Válvula de expansão termostática;
- Indicador de líquido e umidade;
- Sensor da válvula de expansão;
- Quadro elétrico;
- Filtro secador;
- Caixa plenum (opcional);
- Ventilador do evaporador;
- Serpentina de refrigeração;
- Gabinete;
- Compressor;
- Condensador resfriado a água (ou ar);
- Grelha de difusão (opcional);
- Pressostatos de alta pressão e de baixa pressão;
- Contator-disjuntor;
- Proteções térmicas;
- Termostato regulável, que funciona em função da temperatura do ar de reposição;
- Botão liga/desliga (ventilador-compressor).

O rendimento ideal de um monobloco de condicionamento típico dependerá, essencialmente, do projeto e do rendimento dos seguintes elementos: grupo moto-compressor, condensadores, evaporadores e ventiladores. A seguir serão descritos os aspectos mais importantes de cada um dos elementos.



Figura 6 – Modelo de um self-contained.

4.2.1. Moto-compressor

Constituído por um compressor hermético, semi-hermético, ou do tipo aberto (mais raro), o conjunto moto-compressor é projetado para um funcionamento de longa duração.

Na maioria dos casos, utiliza-se um conjunto com compressores herméticos ou semi-herméticos, em que todos componentes em movimento encontram-se completamente isentos do contato com o ar exterior, o que elimina completamente qualquer perigo de contaminação ou desgaste prematuro.

Acontece o mesmo no que se refere ao óleo de lubrificação, que conserva, assim, indefinidamente, suas qualidades lubrificantes.

4.2.2. Condensadores

Os condensadores podem ser refrigerados a água, ou refrigerados a ar.

O espaço ocupado por estes equipamentos é consideravelmente pequeno, o que constitui vantagem apreciável, se levarmos em conta que estes aparelhos podem ser colocados nos exteriores, como por exemplo, nos telhados ou terraços.

4.2.3. Evaporadores

A alimentação dos evaporadores por feixes tubulares localizados após a válvula de expansão termostática, permite um melhor rendimento do aparelho, distribuindo uniformemente a alimentação do refrigerante por toda sua superfície de passagem, tubo a tubo.

A posição, geralmente, inclinada (de aproximadamente 35° à 40° em relação à vertical) dos evaporadores, favorece o escoamento livre dos condensados e sua evacuação rápida para o exterior através do sistema de drenagem.

4.2.4. Ventiladores

Os ventiladores são do tipo centrífugo, de 1, 2 ou 3 turbinas de acordo com a potência do aparelho com caixa de gaiola e com as palhetas inclinadas para a frente. Os mancais do eixo são lubrificados por sistema de lubrificação permanente e são do tipo de auto-alinhamento.

O acionamento das turbinas se faz por meio de correias, havendo um motor auxiliar, cuja polia de diâmetro variável permite variar a velocidade das turbinas e, portanto, a vazão do ar insuflado. O sistema de ventilação tem papel extremamente importante no conjunto dos comportamentos de uma unidade.

4.3. Metodologia de coleta de dados

Os resultados do FMEA dependem fortemente das informações disponíveis para sua realização. Tanto no levantamento dos possíveis modos de falhas, quanto na atribuição dos valores dos índices utilizados na determinação do NPR, é importante que existam dados estatísticos e informações sobre as falhas e suas causas que permitam definir as práticas de manutenção mais adequadas a fim de reduzir a ocorrência de falhas.

Através destas informações deve-se, além de identificar a natureza da falha, ser capaz de propor ações de melhoria, que possibilitem aumentar a confiabilidade do equipamento, juntamente com a periodicidade para a realização das intervenções que se mostrarem críticas.

De modo a tornar a coleta e análise destas informações mais fácil, deve-se procurar, através de um único formulário, obter todos os dados considerados relevantes para aplicação do FMEA. A Figura 7 apresenta o modelo de formulário utilizado neste trabalho para obtenção das informações sobre as falhas observadas nos sistemas de condicionamento de ar.

A seguir são apresentadas algumas instruções referentes ao preenchimento dos campos do formulário.

- Local da instalação. Identificar o local onde o equipamento está instalado;
- Descrição do equipamento. Descrever o fabricante e o modelo do equipamento;
- Descrição da avaria. Descrever sucintamente o problema e citar o código, se houver;
- Causa da avaria. Descrever, se for possível, a causa primária da avaria e citar o código se houver;
- Peças substituídas. Discriminar as peças substituídas;
- Serviços externos. Discriminar os serviços executados por terceiros (tipo de serviço e fornecedor);
- Mão-de-obra utilizada. Nome dos funcionários utilizados de acordo com a sua função;
- Descarte e/ou retrabalho. Descrever se houve ou não descarte e/ou retrabalho;

Relatório de Atendimento - Manutenção Corretiva			
Local da instalação:			
Equipamento:			
Descrição do equipamento:			
Descrição da avaria:			
Causa da avaria:			
1ª ocorrência deste tipo? ☐ Sim ☐ Não			
Solução:			
Peças substituídas:			
Serviços externos:			
Início da avaria:		Data: __/__/__	Hora:
Início da execução do serviço:		Data: __/__/__	Hora:
Término da execução do serviço:		Data: __/__/__	Hora:
Tempo total até início de execução do serviço:			
Tempo total de parada:			
Mão de obra utilizada:	Mecânico(s)	Eletricista(s)	Técnico(s)
Houve descarte e/ou retrabalho?			
Incluir no plano de manutenção preventiva? ☐ Sim ☐ Não			
Sugestões:			

Figura 7 – Formulário para pesquisa de falha.

- Sugestões. Propor medidas corretivas a serem adotadas para a solução do problema.

O preenchimento deste formulário é responsabilidade dos técnicos e deve ocorrer ao longo da execução do serviço de manutenção corretiva. Desta forma evita-se que informações importantes sejam preenchidas incorretamente, ou mesmo, não sejam nem registradas.

Abaixo são apresentadas algumas observações relacionadas ao preenchimento do formulário que são determinantes para a obtenção de bons resultados na aplicação do FMEA:

- Os dados anotados devem retratar de forma fiel à realidade observada no equipamento;
- Todos os campos obrigatoriamente devem ser preenchidos;
- No campo mão-de-obra utilizada deve-se anotar o número de horas que cada funcionário dedicou no reparo da máquina.

4.4. Dados coletados

Os dados coletados para a realização do estudo de caso foram obtidos num primeiro momento através de um formulário já utilizado em atendimentos de manutenção corretiva e, posteriormente, através do formulário apresentado na Figura 7, em que além da descrição dos serviços executados e dos custos de manutenção corretiva há também uma preocupação com a melhor caracterização da falha e, o mais importante, uma primeira análise da causa da avaria realizada já em campo pelo próprio técnico responsável pela manutenção. Estes dados contêm a descrição das falhas que ocorreram no período de março a outubro de 2004, sendo que apenas nos três últimos meses foi utilizado o formulário proposto neste trabalho.

Neste período, foram registrados 129 atendimentos de manutenção corretiva. O histórico de falhas mostra que destes 129 atendimentos apenas 61 não apresentaram custos de material, ou seja, não houve a necessidade de substituir ou reparar algum componente do equipamento. Estes atendimentos estão relacionados a atividades como: rearme de pressostatos e termostatos e limpeza do sistema de

drenagem. A Figura 8 apresenta o número de atendimentos de manutenção corretiva registrados ao longo destes meses de análise.

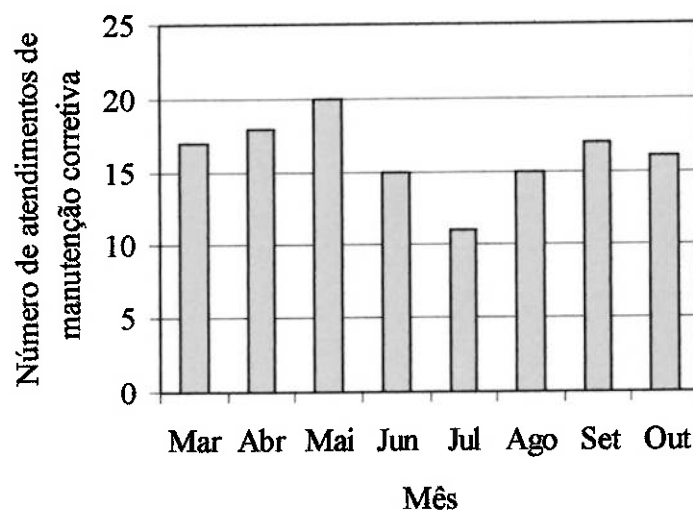


Figura 8 - Número de atendimentos de manutenção corretiva ao longo dos meses de análise.

A média de atendimentos de manutenção corretiva por mês é de 16. Se considerássemos o intervalo de tempo correspondente a um ano teríamos, em média, 192 atendimentos. Este resultado equivale a dizer que anualmente ocorre uma intervenção não programada do equipamento em virtude de uma falha.

Os modos de falhas que acarretaram custos com material, encontrados ao longo destes meses, são mostrados na Tabela 2. É importante observar que o número total de falhas registradas neste período é superior ao número total de atendimentos em que não houve custos relacionados a material, pois em determinados casos num único atendimento foram constatadas mais de uma falha. Por isto, apesar de existirem apenas 68 atendimentos com custos de material, são apresentadas ao todo 90 ocorrências de 17 modos de falhas diferentes.

O número total de ocorrências das falhas e seu valor acumulado em função do modo de falha é mostrado na Figura 9.

Número	Modo de falha	Número total de ocorrências
1	Falta de refrigerante	26
2	Contator danificado	16
3	Filtro secador entupido	8
4	Correia danificada	8
5	Pressostato danificado	5
7	Termostato danificado	5
8	Relé térmico queimado	5
6	Compressor queimado	4
9	Fusível queimado	3
10	Disjuntor danificado	2
11	Rolamento danificado	2
12	Acoplamento da bomba danificado	2
13	Gaxeta da bomba danificada	2
14	Motor do ventilador queimado	1
15	Válvula de expansão danificada	1
16	Motor da bomba queimado	1
17	Capacitor de partida do motor queimado	1

Tabela 2 – Modos de falhas com maior incidência e número total de ocorrências.

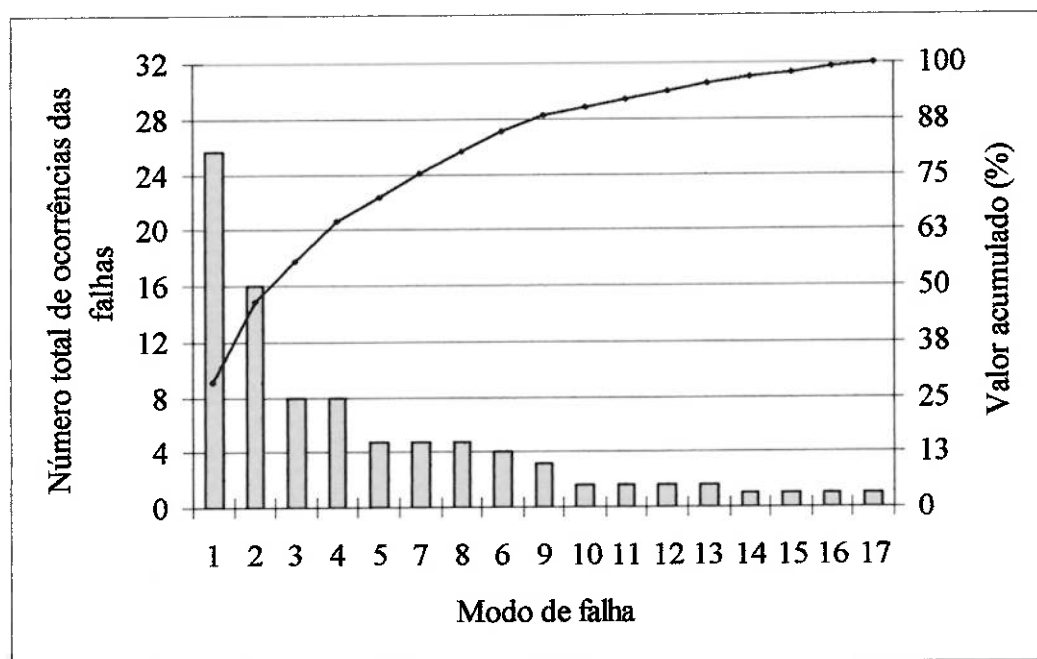


Figura 9 – Número de ocorrências e seu valor acumulado em função do modo de falha.

Como podemos observar a partir do Figura 9, os 4 modos de falhas com maior incidência correspondem a mais de 60 % do número total das ocorrências. São eles: falta de refrigerante, contator danificado, filtro secador entupido e correia danificada.

Destes modos de falhas, todos apresentam alguma atividade programada de manutenção preventiva; logo, ou a atual estratégia de manutenção não é executada corretamente, ou esta não é capaz de atender aos objetivos para os quais foi elaborada.

Os números elevados da frequência de ocorrência destas falhas, verificados em campo, reforçam ainda mais esta idéia. Se considerarmos, por exemplo, o caso da falta de de fluido refrigerante, são 26 registros de ocorrência e 240 kg de fluido refrigerante R22 adicionados aos equipamentos. Estes números representam em média cerca de 1,8 kg de fluido refrigerante R22 adicionados a cada equipamento por ano, o que corresponde a perdas anuais próximas a 30 %.

5. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES

A seguir são apresentadas a aplicação da metodologia de FMEA para os sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained e algumas considerações sobre os resultados obtidos.

Diferentemente do que foi apresentada, a aplicação da metodologia de FMEA neste caso, em virtude do tempo disponível para a realização deste trabalho, está restrita apenas a identificação dos possíveis modos de falhas, suas causas e efeitos e a determinação do índice NPR. Portanto não estão estabelecidos as datas limite de conclusão das ações recomendadas, nem os resultados obtidos com a aplicação destas ações.

Os índices utilizados na determinação do índice NPR foram atribuídos a partir das informações contidas nos formulários de pesquisa de falha.

5.1. Aplicação da metodologia de FMEA

Em sistemas de condicionamento de ar, a falha de qualquer um dos seus componentes invariavelmente apresentará conseqüências ao funcionamento do compressor. Citemos o exemplo da quebra da correia do ventilador. Sua quebra implicará na redução do fluxo de ar através do evaporador e, conseqüentemente, no congelamento das paredes do evaporador. Isto fará com que o compressor comece a operar com ciclos curtos.

Desta forma, a análise do tipo e efeito de falhas destes equipamentos pode ser resumida a determinação dos possíveis modos de falhas do compressor, suas causas e seus efeitos.

A Tabela 3 apresenta a aplicação de FMEA para os sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained.

Processo/Produto: Self-contained
Responsável pelo FMEA: Bruno Emanuel Fernandes Iuan

Número do FMEA: 01
Data de execução do FMEA (Original): dez/04
(Revisão): 00
Página: 01 de 04

Aplicação do FMEA								
Item e Função	Potencial Modo(s) de Falha	Potencial Efeito(s) de Falha	Severidade	Potencial Causa(s) de Falha	Ocorrência	Controles Atuais	Deteção	NPR
Compressor	Falha na partida	Não há corrente no contator do motor	8	Falha na força	3	Verificado circuito elétrico	7	168
		Não há corrente no contator do motor	8	Interruptor aberto	3	Verificado circuito elétrico	7	168
		Não há corrente no motor após os fusíveis	8	Fusíveis queimados	6	Verificado circuito elétrico	7	336
		A lâmpada de teste do circuito elétrico acende mas com pouco brilho	8	Baixa voltagem	3	Verificado circuito elétrico	7	168
		Há voltagem nos terminais do motor, mas ele não anda	8	Motor queimado	3	Verificado circuito elétrico	7	168
		A bobina de retenção está queimada	8	Contator do motor danificado	8	Verificado circuito elétrico	7	448
		Os contatos estão partidos ou gastos	8	Contator do motor danificado	8	Verificado circuito elétrico	7	448
		Bobina de retenção do contator sem energia	8	Circuito de controle aberto	3	Verificado circuito elétrico	7	168
		Motor funciona, mas o compressor não	8	Acomplamento danificado	4	Verificado acoplamento	7	224
		Compressor não funciona	8	Mecanismo de segurança travado	3	Verificado compressor	7	168
		O pressostato de baixa pressão desarma	8	Pressão de sucção regulada abaixo do ponto de corte normal	3	Verificados pressostatos	7	168
		O pressostato de alta pressão desarma	8	Pressão de sucção regulada acima do ponto de corte normal	3	Verificados pressostatos	7	168

Processo/Produto: Self-contained
Responsável pelo FMEA: Bruno Emanuel Fernandes Iuan

Número do FMEA: 01
Data de execução do FMEA (Original): dez/04
(Revisão): 00
Página: 02 de 04

Aplicação do FMEA								
Item e Função	Potencial Modo(s) de Falha	Potencial Efeito(s) de Falha	Severidade	Potencial Causa(s) de Falha	Ocorrência	Controles Atuais	Deteção	Ação Recomendada
Compressor	Opera com ciclos curtos	Operação normal com exceção de saídas e paradas muito frequentes	5	Contato intermitente no circuito de controle elétrico	3	Verificado painel de controle	7	105
		Ruído na válvula solenóide e/ou mudança de temperatura na linha de refrigerante antes e depois da válvula	6	Válvula solenóide da linha líquida danificada	3	Observados ruídos e verificada válvula solenóide	7	126
		Evaporador sujo	6	Fluxo de ar reduzido em virtude de filtros sujos	8	Verificada conservação dos filtros de ar	7	336
		Evaporador com gelo	6	Fluxo de ar reduzido em virtude de correias frouxas ou quebradas	8	Verificada condição das correias	7	336
		Pressão de descarga acima do normal	6	Defeito no circuito de condensação	7	Verificado o circuito de condensação	7	294
		Pressão de descarga muito alta	6	Sobrecarga de refrigerante	9	Não há	10	540
		Operação normal com exceção de paradas e saídas muito frequentes provocadas pelo interruptor de centro do pressostato de baixa	6	Falta de refrigerante	9	Verificados vazamentos de refrigerante	7	378
		Alta pressão na descarga	6	Válvula reguladora e água de condensação danificada ou restringida por sujeira ou temperatura muito alta	3	Verificada válvula reguladora de água	7	126

Processo/Produto: Self-contained
Responsável pelo FMEA: Bruno Emanuel Fernandes Iuan

Número do FMEA: 01
Data de execução do FMEA (Original): dez/04
(Revisão): 00
Página: 03 de 04

Aplicação do FMEA								
Item e Função	Potencial Modo(s) de Falha	Potencial Efeito(s) de Falha	Severidade	Potencial Causa(s) de Falha	Ocorrência	Controles Atuais	Deteção NPR	Ação Recomendada
Compressor	Opera com ciclos curtos	Pressão de sucção muito baixa e congelamento no filtro	6	Filtro e secador da linha de líquido restringidos	8	Verificado filtro secador	7 336	
		Motor arranca e para rapidamente	6	Falha do motor	3	Verificada resistência do isolamento do motor	7 126	
		Compressor liga e desliga pelo pressotato de alta	6	Condensador sujo	7	Verificadas condições do condensador	7 294	
	Funciona continuamente	Alta temperatura na área condicionada	7	Carga térmica excessiva	6	Não há	7 294	
		Temperatura muito baixa na área condicionada	7	Termostato ajustado para temperatura muito baixa ou danificado	3	Verificados os termostatos	7 147	
		Temperatura muito baixa na área condicionada	7	Contatos soldados no contator do rotor	3	Verificados os contatos elétricos	7 147	
		Bolhas no visor da linha do líquido	6	Falta de refrigerante	9	Verificados vazamentos	7 378	
		Pressão de descarga muito alta	6	Sobrecarga de refrigerante	9	Não há	10 540	
		Compressor com ruídos ou evaporando com compressão de descarga baixa ou alta	6	Vazamentos nas válvulas internas do compressor	7	Observados ruídos	7 294	
		Temperatura muito baixa na área condicionada	6	Válvula solenóide emperrada	3	Verificada válvula solenóide	7 126	

Processo/Produto: Self-contained				Número do FMEA: 01					
Responsável pelo FMEA: Bruno Emanuel Fernandes Iuan				Data de execução do FMEA (Original): dez/04					
				(Revisão): 00					
				Página: 04 de 04					
Aplicação do FMEA									
Item e Função	Potencial Modo(s) de Falha	Potencial Efeito(s) de Falha	Severidade	Potencial Causa(s) de Falha	Ocorrência	Controles Atuais	Deteção	NPR	Ação Recomendada
Compressor	Perde óleo	Nível de óleo muito baixo no visor do compressor	4	Carga de óleo insuficiente	2	Verificado o nível de óleo	7	56	
		Nível de óleo baixo	4	Filtros sujos ou válvulas obstruídas	8	Verificadas condição dos filtros e válvulas	7	224	
		Linha de sucção excessivamente fria e/ou operação ruidosa do compressor	4	Líquido voltando ao compressor em virtude do aquecimento da válvula	3	Verificada válvula de expansão	7	84	
	Opera com ruídos	Desalinhamento do acoplamento	5	Parafusos do acoplamento frouxos	2	Lubrificados e verificados os acoplamentos	7	70	
		Aquecimento do acoplamento	5	Acoplamento sem óleo	2	Lubrificados os acoplamentos	7	70	
		Partes internas do compressor danificadas	5	Compressor bate mecanicamente	8	Observados ruídos	7	280	
		Linha de sucção fria. O compressor bate líquido	5	Presença de líquido na tubulação de sucção	3	Verificada válvula de expansão	7	105	
		Válvula de água vibra	5	Válvula reguladora de água suja ou com pressão de água elevada	2	Verificada válvula de água	7	70	
		Compressor motor vibra	5	Parafusos de fixação do compressor soltos	2	Verificada base	7	70	

Tabela 3 – Aplicação de FMEA para os sistemas de condicionamento de ar.

De acordo com a Tabela 3, as falhas, que apresentam os maiores NPR, são: contador do motor danificado, fluxo de ar reduzido em virtude de filtros de ar sujos, fluxo de ar reduzido em virtude de correias frouxas ou quebradas, sobrecarga de refrigerante, falta de refrigerante e filtro e secador da linha de líquido restringidos.

As ações recomendadas neste caso, a fim reduzir a incidência destas falhas, são: a redução da periodicidade das atuais tarefas preventivas, que visam coibir a ocorrência das falhas citadas acima, e a definição dos melhores procedimentos a serem adotados na execução destas tarefas de forma a garantir a detecção da falha.

5.2. Avaliação dos custos envolvidos na manutenção corretiva dos sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained

Abaixo são apresentados os preços médios dos materiais que foram substituídos ao longo dos meses de análise.

Material	Preço médio (R\$)
Compressor (30.000 BTU)	1.231,11
Válvula de expansão	278,03
Termostato	264,50
Pressostato	189,94
Relé térmico	124,88
Contator	102,85
Acoplamento	66,30
Filtro secador	51,62
Disjuntor	36,96
Capacitor de partida	30,25
Rolamento	20,00
Fluido refrigerante R22 (kg)	17,54
Correia	17,00
Fusível	13,47
Gaxeta	12,25

Tabela 4 – Tabela de preços.

Considerando que o valor a ser pago pelo atendimento de manutenção corretiva seja de R\$ 40,00 por ocorrência, obtemos, a partir da Tabela 4, um valor estimado do custo total de manutenção corretiva de aproximadamente R\$ 30.000,00 por ano, sendo R\$ 7.700,00 referentes apenas aos custos de atendimento destas ocorrências e R\$ 22.300,00 referentes aos custos com materiais.

Deste total, em torno de R\$ 7.400,00 são utilizados na aquisição de novos compressores e R\$ 6.300,00 na adição de fluido refrigerante. Estes valores representam cerca de 60 % do custo total de materiais gastos na manutenção corretiva.

Levando-se em conta que a operação de adição de fluido refrigerante em sistemas de condicionamento de ar apresenta diversos riscos a todo o equipamento,

principalmente ao compressor, devido à possibilidade de entrada de líquido no circuito do gás refrigerante, e que, na maioria dos casos, esta é a principal causa de falhas nestes sistemas, a adoção de medidas eficazes no sentido de eliminar a necessidade constante de recarga de gás refrigerante, e, conseqüentemente, de reduzir a incidência de falhas nestes sistemas, representariam uma economia anual em torno de R\$ 15.000,00 à R\$ 25.000,00, incluindo os custos associados com o atendimento destas ocorrências.

Como o custo total de manutenção preventiva é de aproximadamente R\$ 50,00 mensais por self-contained, estima-se que os gastos totais com os serviços de manutenção preventiva e corretiva nestes equipamentos sejam de R\$ 150.000,00 por ano. Desta forma, apenas a redução do modo de falha relacionado à recarga de gás R22, permitiria uma economia de cerca de 17 % do total gasto anualmente.

Estes números evidenciam o fato de que as atuais estratégias de manutenção, além de não são serem capazes de atender aos objetivos para os quais foram elaboradas, implicam em elevados custos totais de manutenção para a empresa.

5.3. Considerações sobre os resultados obtidos

Nota-se, a partir da Tabela 3 e dos resultados apresentados acima, que as falhas, cujos NPR são superiores a 300, correspondem aos modos de falha com maior incidência em campo e que implicam nos maiores custos de manutenção. Desta forma, o acompanhamento da frequência destas falhas deve ser utilizado como parâmetro importante na avaliação da confiabilidade do serviço de manutenção executado.

Na maioria das políticas de manutenção adotadas atualmente já existem atividades preventivas a fim de evitar ocorrência destas falhas. Entretanto os resultados ainda não são satisfatórios, como podemos observar.

A ineficiência destas atividades, na maioria dos casos, está relacionada à definição precipitada da estratégia de manutenção a ser adota, principalmente no que se refere à periodicidade das intervenções, e à capacitação dos técnicos para a execução das atividades programadas. Como consequência destes fatores, temos o

aumento do custo total utilizado para a realização da manutenção nestes equipamentos.

5.4. Considerações sobre aplicação da metodologia de FMEA na definição de parâmetros de confiabilidade

O sucesso da aplicação da metodologia de FMEA na definição de parâmetros de confiabilidade para avaliação das estratégias de manutenção está sujeito a diversos fatores que vão desde o correto entendimento da metodologia até a determinação das causas das falhas do equipamento ou processo avaliado.

A seguir são apresentados os fatores que se mostraram mais críticos ao longo da execução do estudo de caso:

- Qualidade das informações disponíveis para a definição dos índices de severidade, ocorrência e detecção. Apenas a utilização do formulário proposto neste trabalho não é suficiente para garantir a qualidade das informações coletadas. É necessário expor aos técnicos de manutenção, que são responsáveis pelo preenchimento do formulário, a importância da descrição correta da avaria e dos benefícios obtidos com a análise de falhas.
- Ausência de estudos relacionados à elaboração de estratégias de manutenção preventiva. Ainda hoje são raros os estudos na área de manutenção, especialmente em sistemas de condicionamento de ar, que apresentam uma abordagem completa sobre o tema. A NBR 13971 (Sistemas de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação – Manutenção programada), que estabelece orientações básicas para as atividades e serviços necessários na manutenção programada de conjuntos e componentes e equipamentos de refrigeração, condicionamento de ar e ventilação, por exemplo, não apresenta nenhuma informação com relação à periodicidade das atividades recomendadas.
- Definição das causas das falhas do equipamento. A correta definição dos possíveis modos de falhas, seus efeitos e, principalmente, suas causas é fator determinante no sucesso da aplicação da metodologia de FMEA. Entretanto, nem sempre a definição da causa raiz do problema é uma tarefa simples. Por isto, é

fundamental que a pessoa responsável pela aplicação da metodologia conheça o equipamento ou o processo e que a busca de informações para análise de falhas seja realizada em campo.

6. CONCLUSÕES

No atual cenário mundial, caracterizado pela busca da otimização de custos, são cada vez mais comuns estudos relacionados à avaliação da qualidade e eficácia dos serviços de manutenção e dos custos envolvidos nesta atividade. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar a metodologia de análise de FMEA para definição de parâmetros de confiabilidade em estratégias de manutenção.

Como a FMEA é uma ferramenta que atua nos modos potenciais de falha, propondo ações de melhoria a fim de evitar a repetição das falhas, o seu desenvolvimento permite definir parâmetros de confiabilidade capazes de avaliar diferentes políticas de manutenção.

O estudo de caso apresentado neste trabalho procura exemplificar a aplicação da metodologia de FMEA com o propósito de definir parâmetros de confiabilidade em sistemas de condicionamento de ar do tipo self-contained. As informações utilizadas para o desenvolvimento do estudo de caso foram disponibilizadas por agências bancárias localizadas na Grande São Paulo ao longo do ano de 2004.

Os principais modos de falhas observados através da análise das informações coletadas evidenciam de uma maneira geral o retrato da manutenção em sistemas de condicionamento de ar no Brasil. Apesar de existirem atividades periódicas com o objetivo de minimizar a incidência dos principais modos de falhas observados, algumas se mostram ineficazes diante dos números apresentados.

A avaliação dos atuais custos envolvidos na realização da manutenção corretiva ratifica esta afirmação. Mesmo existindo uma programação mensal para a constatação de vazamentos de fluido refrigerante, estima-se que a perda de gás R22 destes sistemas alcance valores próximos a 20 % ao ano.

Os resultados obtidos com aplicação da FMEA sugerem o acompanhamento da frequência dos principais modos falhas como a melhor maneira de avaliar as atuais políticas de manutenção adotadas.

Embora a análise realizada estivesse limitada à avaliação de falhas, em virtude do tempo disponível para a realização do trabalho, sem considerar determinados aspectos como TMEF, que permitiriam estabelecer periodicidades para

a realização das intervenções programadas, a aplicação da metodologia de FMEA se mostrou uma ferramenta extremamente eficaz tanto na definição de parâmetros de confiabilidade em estratégias de manutenção quanto na elaboração das práticas mais adequadas para a realização da manutenção preventiva.

Como continuação natural deste trabalho, o aperfeiçoamento do modelo aqui apresentado é o próximo passo para a utilização desta metodologia em análises de outros sistemas de condicionamento de ar, mais complexos, com a inclusão de novas variáveis, de forma a expandir o leque de estudos relacionados à confiabilidade dos serviços de manutenção realizados nos dias de hoje.

7. BIBLIOGRAFIA

ASHRAE Handbook HVAC Applications 1995, ASHRAE.

ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment 1996, ASHRAE.

BILLINTON, R. and ALLAN, R.N. Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques. London: Pitman Advanced Publishing. 1983.

BLOCH, Heinz and GEITNER, Fred K. An Introduction to Machinery Reliability Assessment. New York: Van Nostrand, 1990.

BUFFA, Edwood S. Administração da Produção. LTC, Editora Atlas S/A, 1975.

CYMBALISTA, M. FMEA. Fundação Carlos Alberto Vanzolini: São Paulo, 1992.

DAVIS, M.; AQUILANO, N.J. & CHASE, R.B. Fundamentos da Administração da Produção. Editora Bookman, 2001.

DRAPINSKI, JANUSZ. Manutenção mecânica básica: manual prático de oficina. São Paulo: Mcgraw-Hill. 1973.

EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. McGraw-Hill, 1997.

LAUGENI, P. & MARTINS, P. Administração da Produção. Editora Saraiva, 2001.

LEWIS, Elmer E. Introduction to Reliability Engineering. New York: John Wiley, 1987.

MCDERMOTT, R. E. et alii. The Basics of FMEA. Quality Resources, USA, 1996.

MONKS, J. G. Operations Management. Mcgraw-Hill, 1987.

RAO, S.S. Reliability-based Design. New York: McGraw Hill, 1992.

SLACK, N. Administração da Produção. Editora Atlas, 1997.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. Refrigeração e Ar Condicionado. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.