



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Relatório de Estágio Profissional

**Proposta de Plano de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Sistemas de
AVAC Monitorados pela IEM, SA**

Campo de Estudo: Condicionador de Ar

Discente:

Moiane, Luís G. Enoque

Supervisor da Faculdade:

Eng^o. Roberto David

Supervisor da Empresa IEM, SA.:

Eng^o. Paulo Miambo

Maputo, Julho de 2023



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Relatório de Estágio Profissional

**Proposta de Plano de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Sistemas de
AVAC Monitorados pela IEM, SA**

Campo de Estudo: Condicionador de Ar

Discente:

Moiane, Luís G. Enoque

Supervisor da Faculdade:

Eng^o. Roberto David

Supervisor da Empresa IEM, SA.:

Eng^o. Paulo Miambo

Maputo, Julho de 2023



Proposta de Plano de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Sistemas de AVAC

Monitorados pela IEM, SA

Moiane, Luís G. Enoque



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante Luis Guebuza Enoque Moiane, N^o. 20181853 entregou no dia __/__/____
as __ cópias do relatório de estágio profissional, intitulado a **Proposta de Plano de Manutenção
Centrada na Confiabilidade de sistemas de AVAC Monitorados pela IEM, SA, Campo de
Estudo: Condicionador de Ar**, realizado na Instalações Electromecânicas de Moçambique
localizada na Av. Vladmir Lenine N^o. 2830. Bairro da Coop, Cidade de Maputo.

Maputo, Julho de 2023

A Chefe da Secretária



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

Relatório de Estágio Profissional

Proposta de Plano de Manutenção Centrada na Confiabilidade de Sistemas de AVAC

Monitorados pela IEM, SA

Campo de Estudo: Condicionador de Ar

Eu Luís Guebuza Enoque Moiane, estudante do 6º nível do curso de Engenharia de Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia, da Universidade Eduardo Mondlane, submeto este trabalho como requisito para a aquisição do grau de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial.

Aprovado por:

Eng.º Roberto Luciano David, Supervisor do Relatório

Membro do júri 1

Membro do júri 2

Membro do júri 3

Índice

AGRADECIMENTOS	IV
DECLARAÇÃO DE HONRA	VI
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução.....	2
1.2 Objectivos.....	3
1.2.1 Objectivo geral.....	3
1.2.2 Objectivo específicos	3
1.2.3 Definição do problema.....	3
1.2.4 Proposições	3
1.2.5 Perguntas da investigação.....	3
1.2.6 Relevância do estudo	4
1.2.7 Estrutura do relatório	4
2. CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Manutenção	6
2.1.1. Conceito	6
2.2. História da evolução da Manutenção	7
2.2.1. Primeira Geração	8
2.2.2. Segunda Geração	8
2.2.3. Terceira Geração.....	9
2.2.4. Interação entre as Fases	11
2.2.5. Importância da Manutenção.....	11
2.2.6. Tipos de Manutenção	12
2.2.7. Engenharia De Manutenções	15

2.2.8.	Manutenção Produtiva Total.....	16
2.2.9.	Manutenção Centrada Em Confiabilidade	16
2.2.10.	Fundamentos da MCC.....	17
2.2.11.	Implementação da MCC.....	18
2.2.12.	Confiabilidade	19
2.2.13.	Funções de Confiabilidade	19
2.2.14.	Mantenabilidade e Taxa de Reparos	20
2.2.15.	Falhas	20
2.2.16.	Taxa de Falhas.....	20
2.2.17.	Disponibilidade	22
2.2.18.	Tempo Médio entre Falhas.....	22
2.3.	Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA).....	22
2.3.1.	Modos de Falhas	24
2.3.2.	Efeitos das Falhas	24
2.3.3.	Custos de Manutenção	24
3.	CAPÍTULO III - CONTEXTUALIZAÇÃO.....	26
3.1.	Apresentação da empresa.....	27
3.2.	Descrição do estágio.....	28
3.3.	Estratégia de manutenção da empresa na actualidade.....	28
3.4.	Intervenções presenciadas	28
3.5.	Acções de manutenção preventiva	33
3.6.	Análise de problema.....	35
4.	CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	36
4.1.	Modelo proposto de manutenção	37
4.2.	Implementação do modelo proposto	37
4.2.1.	Seleção do sistema e colecta de informações	37
4.2.2.	Definição das fronteiras do sistema	38
4.2.3.	Descrição do sistema.....	38
4.2.4.	Mapeamento das funções e falhas funcionais	39
4.2.5.	Aplicação da Análise dos Modos de falhas e Efeitos (FMEA)	39
5.	CAPÍTULO V. AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	43

5.1. Resultados	44
1.2.8 Avaliação das Facturas	45
6. CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	46
6.1. Conclusões	47
6.2. Recomendações.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
Bibliografia	49
ANEXOS.....	50
Anexo A – Ficha de Manutenção Preventiva	I
Anexo B – Ficha de <i>Check List</i> Actual	III
Anexo C – Ficha de Falhas Funcionais	IV
Anexo D – Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).....	V
Anexo E – Ficha de <i>Check-List</i> Actualizado	VII
Anexo F – Ilustração das Actividades Irregulares.....	VIII
Anexo G – Imagem Representativa da Empresa	IX

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por me ter concedido o dom da vida e pela oportunidade de ter uma formação académica. Endereço também os meus agradecimentos aos meus pais que tanto me apoiaram neste percurso, ao meu irmão Rosivaldo Keshavji por me ter dado força nos dias em que me sentia abatido.

À empresa Instalações Eletromecânicas de Moçambique, S.A e a todos os colaboradores que desde o primeiro dia me fizeram sentir em casa e como um elemento da casa. Ao Eng.º Paulo Miambo e ao Eng.º Marcos Mandlate, os técnicos da empresa, que contribuíram para melhor percepção de formas de reparação dos aparelhos de condicionamento de ar.

Aos meus prezados colegas dos períodos pós-laboral e laboral, aos docentes do Departamento de Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia e ao meu supervisor Eng.º Roberto David.

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos meus pais pelo esforço e garantia da minha sustentabilidade durante o meu percurso académico e pelo apoio dos meus irmãos e amigos.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, declaro por minha honra que o presente relatório de estágio é exclusivamente da minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura:

(Luís G. Enoque Moiane)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-2 : Políticas de manutenção (Fonte: Waeyenbergh)	7
Tabela 2-2: Expectativas do MCC (Fonte: Garza, 2002)	18
Tabela 3-2: Número de Prioridade de Risco (Fonte: HERPICH; FOGLIATTO, 2013)	23
Tabela 4-3: Características técnicas do aparelho.....	30
Tabela 5-3: Características técnicas do aparelho.....	30
Tabela 6-3: Características técnicas do aparelho.....	31
Tabela 7-3: Características técnicas do aparelho.....	32
Tabela 8-4: Descrição de parâmetros para Ocorrência (O) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor).....	40
Tabela 9-4: Descrição de parâmetros para Detecção (D) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor).....	40
Tabela 10-4: Descrição de parâmetros para Severidade (S) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor).....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2 : Evolução da Manutenção (Fonte: Moubray, 1997)	8
Figura 2-2: Filosofia de manutenção (Fonte: Kardec e Nasfic, 2009)	10
Figura 3-2: Importância Crescente da Manutenção (Fonte: Mário Brito e Eurisko, 2003).....	12
Figura 4-2: Passos para implantação do MCC (Fonte: Fogliatto e Ribeiro, 2011).	19
Figura 5-2: Curva da banheira ou característica típica de vida de um equipamento (Fonte: Lafraia, 2001).	21
Figura 6-2: Custo de se manter um equipamento	25
Figura 7-2: Custo em relação a confiabilidade	25
Figura 8-3: Unidade condensadora do DEP de Segurança Rodoviária da ANE (Fonte: Autor). 29	
Figura 9-3: Unidade condensadora, subestação da EDM, (Fonte: Autor).....	30
Figura 10-3: Unidade condensadora avariados, EDM - SE8, (Fonte: Autor)	31
Figura 11-3: Motores de ventilação em estado crítico EDM - SE8, (Fonte: Autor)	31
Figura 12-3: Conduta de liquido/expansão congelada, EDM-SE8 (Fonte: Autor)	32
Figura 13-3: Eliminação de fuga por soldadura, EDM SE-11(Fonte: Autor)	33
Figura 14-3: Verificação do nível do refrigerante (Fonte: Autor)	33
Figura 15-3: Verificação de eventuais fugas (Fonte: Autor).....	34
Figura 16-3: Verificação de ligações eléctricas (Fonte: Autor)	34
Figura 17-3: Limpeza dos filtros de ar (Fonte: Autor)	35
Figura 18-4: Ciclo básico de refrigeração (Fonte: Andaque Viandro, Refrigeração e Climatização, UEM, 2020-2021)	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Ranking RPN para os subsistemas do aparelho condicionador de ar (Fonte: Autor)	42
Gráfico 2-5: Avaliação dos resultados após a aplicação da Analise do FMEA (Fonte: Autor) ..	44
Gráfico 3-5: Avaliação das facturas (Fonte: Autor)	45

LISTA DE ABREVIATURAS

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade;

TPM– Manutenção Produtiva Total;

FMEA– Analise de Modos de Falhas e seus Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis*);

CTMF– Curva do Tempo Médio para Falha;

TMF – Tempo Médio entre as Falhas;

IEM – Instalações Electromecânicas de Moçambique;

EDM – Electricidade de Moçambique;

ANE – Administração Nacional de Estradas;

TBM - Manutenção Baseada no Tempo;

CBM – Manutenção Baseada em Condição;

NBR – Norma Brasileira;

MTTR – Tempo Medio para Reparos;

OEE - *Overall Equipment Effectiveness* (Eficiência Global dos Equipamentos);

MTBF – Tempo Médio entre as Falhas;

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado;

UTA – Unidade de Tratamento de Ar;

RESUMO

Neste trabalho, o problema central é a confiabilidade do sistema de condicionador de ar usado intensivamente nas subestações da EDM, no contexto actual, o uso desse equipamento, por um lado se torna indispensável por exigências de conforto e segurança dos trabalhadores, por outro, representa um elemento para a imagem e a lucratividade da empresa IEM, SA. Pelo impacto negativo que os eventuais problemas de desempenho representam, afectando as relações com os usuários, foi adoptada a perspectiva da Manutenção Centrada na Confiabilidade para avaliar as práticas de manutenção existentes e indicar novos procedimentos e alterações nas actividades de manutenção, a partir das pesquisas de campo e discussões técnicas com a equipe de manutenção e os fabricantes originais dos equipamentos. O trabalho empregou ferramentas típicas da gestão da qualidade, como FMEA e análise de Pareto e se baseou nas referências da literatura sobre Gestão da Manutenção para descrever, analisar sistemicamente o equipamento em seu contexto funcional. Os modos de falha, a ocorrência de falhas e seus desdobramentos foram investigados e os comportamentos dinâmicos de alguns componentes foram analisados. A metodologia utilizada de FMEA é analisada no decorrer do trabalho e em seguida aplicada ao processo de climatização, os resultados representam um entendimento mais profundo e organizado do equipamento, uma visão colectiva mais completa e crítica dos processos de trabalho da organização pesquisada e a expectativa de melhoria de desempenho do equipamento e da equipe de manutenção no curto prazo.

Palavras chave: FMEA, Manutenção, Condicionador de ar.

ABSTRACT

In this work, the central problem is the reliability of the air conditioning system used intensively in the substations of the EDM, in the current context, the use of this equipment, on the one hand becomes indispensable due to the demands of comfort and safety of the workers, on the other hand, it represents an element for the image and profitability of the company IEM, SA. Due to the negative impact that possible performance problems represent, affecting relations with users, the perspective of Reliability Centered Maintenance was adopted to evaluate existing maintenance practices and indicate new procedures and changes in maintenance activities, based on surveys of field and technical discussions with maintenance staff and original equipment manufacturers. The work used typical quality management tools, such as FMEA and Pareto analysis, and was based on references in the literature on Maintenance Management to describe and systemically analyze the equipment in its functional context. Failure modes, the occurrence of failures and their consequences were investigated and the dynamic behavior of some components were analyzed. The FMEA methodology used is analyzed throughout the work and then applied to the air conditioning process, the results represent a deeper and more organized understanding of the equipment, a more complete and critical collective view of the work processes of the researched organization and the expectation of performance improvement of equipment and maintenance staff in the short term.

Keywords: FMEA, Maintenance, Air conditioner.

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Desde o principio o Homem busca formas de garantir o bem-estar da humanidade criando recursos e condições para favorecer o mesmo, e num universo de soluções para as necessidades apresentadas pelo ser humano põe-se em destaque a questão do conforto térmico que por sua vez o suprimento desta necessidade evoluiu do Homem para suprir também as solicitações térmicas de certas maquinas e equipamentos que não podem parar o seu funcionamento e para mitigar o superaquecimento destas maquinas e equipamentos recorre-se aos aparelhos condicionadores de ar, o que abre portas para que haja uma manutenção fiável para que possa garantir com que esses aparelhos condicionadores de ar funcionem de forma efetiva aumentando a sua vida útil e proporcionado lucros para a empresa.

A Engenharia e Gestão industrial é muito importante para a solução de problemas e apresentação de novas soluções para equipamentos de refrigeração e climatização, não só do ponto de vista do bom funcionamento da instalação, mas também na escolha correta do planeamento da gestão de manutenção dos equipamentos e análise das condições de funcionamento de forma a promover uma maior eficiência.

Este relatório de estágio com enfase em manutenção de aparelhos de climatização, foi desenvolvido no âmbito de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial, ramo da Engenharia Mecânica pela Universidade Eduardo Mondlane na Faculdade de Engenharia em colaboração com a empresa Instalações Eletromecânicas de Moçambique, S.A.

1.2 Objectivos

1.2.1 Objectivo geral

Propor um plano de manutenção centrada na confiabilidade para aparelhos de condicionamento de ar monitoradas pelas equipas da IEM.

1.2.2 Objectivo específicos

- ✓ Descrever o plano de manutenção vigente na IEM;
- ✓ Aplicar a ferramenta FMEA para análise de falhas;
- ✓ Avaliar os resultados da implantação da MCC como ferramenta de apoio a manutenção.

1.2.3 Definição do problema.

A falta de manutenção e limpeza faz com que o condicionador de ar trabalhe forçosamente sobrecarregando o compressor, que tem a função de resfriar o ambiente. Funcionando nessas condições, o aparelho consome muito mais energia elétrica e, conseqüentemente, também, acaba pesando mais no bolso do usuário e em várias subestações da Electricidade de Moçambique, E.P., por onde as equipas de manutenção da IEM, S.A. tem feito manutenção há casos que por falta de manutenção ao tempo determinado alguns painéis de controlo de transformadores explodem devido a falta de climatização do ar por causa da parada inesperada do funcionamento do condicionador de ar .

1.2.4 Proposições

A manutenção centrada na confiabilidade (MCC) pode promover uma análise de falhas de um sistema, melhorar os índices de confiabilidade, disponibilidade e custos.

1.2.5 Perguntas da investigação

E possível aumentar a vida útil do aparelho de ar-condicionado?

O que acontece quando ocorre uma falha no ar-condicionado?

A Manutenção Centrada na Confiabilidade é ótima para o caso em estudo?

Quais são os benefícios da Manutenção Centrada na Confiabilidade?

1.2.6 Relevância do estudo

- ✓ Reunir metodologias com melhores técnicas de manutenção;
- ✓ Apresentar melhores possibilidades de manter a disponibilidade dos aparelhos de ar-condicionado e minimizar intervenções correctivas no mesmo equipamento
- ✓ Organizar informações de modo a apoiar a gestão da manutenção.

1.2.7 Estrutura do relatório

Este trabalho é composto por seis capítulos, Introdução, Revisão da Literatura, Contextualização, Metodologia de Resolução de Problema, Avaliação de Resultados, Conclusões e Recomendações.

No capítulo Introdução são apresentados os objetivos do trabalho, a metodologia aplicada e as razões que justificam a elaboração do mesmo.

No capítulo Revisão da Literatura é exposto referencial teórico detalhado que sintetiza informações relevantes sobre a Manutenção Industrial, suas classes, evolução ao longo do tempo e valida a utilização da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade aqui aplicada.

No capítulo Contextualização descreve-se a apresentação da empresa, actividades presenciadas durante o estágio como também a estratégia de manutenção na empresa IEM, SA.

No capítulo da Metodologia de Resolução do Problema são expostos os procedimentos utilizados para análise de dados do equipamento, análise de falha e descrição do sistema de refrigeração.

O capítulo Resultados apresenta os resultados obtidos pela implementação dos dados, análise gráfica e discussão dos mesmos. No capítulo Conclusão encerra-se o trabalho com análise crítica dos resultados, avaliação de consistência, proximidade com a teoria e verificação do alcance do objetivo proposto.

2. CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Manutenção

2.1.1. Conceito

Pode-se definir a manutenção industrial como o conjunto de revisões programadas que visam manter ou restabelecer o funcionamento adequado de um equipamento, instalação ou sistema qualquer.

Segundo a norma brasileira sobre confiabilidade e manutenção, a NBR 5462/1994, manutenção é a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou relocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (Silva, 2004: 17).

Scarpim (2005) explica que a manutenção é a actividade responsável pelo manutenção de máquinas, instalações e equipamentos em condições de uso, sendo que, a manutenção se preocupa com a análise de equipamentos e instalações quando ainda em funcionamento e utilização.

No âmbito industrial ou qualquer ofício de fabricação, necessita-se de modos que irão permitir o bom andamento da produção, sendo processos simples ou sofisticados, contudo, problemas relacionados a desgastes, quebras, fraturas e mais outros incidentes podem ser observados durante o processo.

A manutenção representa estratégias para a determinação e avaliação da situação atual, bem como para a preservação e o restabelecimento da condição nominal das instalações, máquinas e componentes.

A política da manutenção dá-se por um grupo de regras, procedimentos e definições que são confabulados para operacionalizar a manutenção de forma a atender os principais interesses da empresa (CORRÊA, 2015).

Waeyenbergh (2005) fala que há 3 principais grupos de manutenção, e de acordo com a tabela 1 ele relaciona as políticas com suas respectivas ações.

Tabela 1-2 : Políticas de manutenção (Fonte: Waeyenbergh)

POLITICAS DE MANUTENÇÃO		
Grupo	Base da política de manutenção	Accão de manutenção
Manutenção correctiva	Manutenção baseada na falha	Reparar
Manutenção preventiva	Manutenção baseada no uso	Inspeccionar
	Manutenção baseada no tempo	Reparar
	Manutenção baseada no projecto	Substituir
Manutenção preditiva	Manutenção baseada na detecção	Inspeccionar
	Manutenção baseada na condição	Inspeccionar

Há várias definições e concepções relacionados à manutenção, geralmente, a maioria enfatiza as características preventivas, conservativas e corretivas da atividade, mas é interessante observar a mudança, mais recente, que inclui nas definições os aspectos humanos, de custos e de confiabilidade da função da manutenção, como consequência do aumento da importância e responsabilidade do setor dentro das organizações.

2.2. História da evolução da Manutenção

Moubray (1997) e Siqueira (2009) dividem a evolução da manutenção em três gerações distintas, onde cada geração corresponde a um período tecnológico de produção, resultando em novos conceitos, filosofias e atividades de manutenção. A figura 1 apresenta as três gerações da manutenção e o enfoque de cada uma.

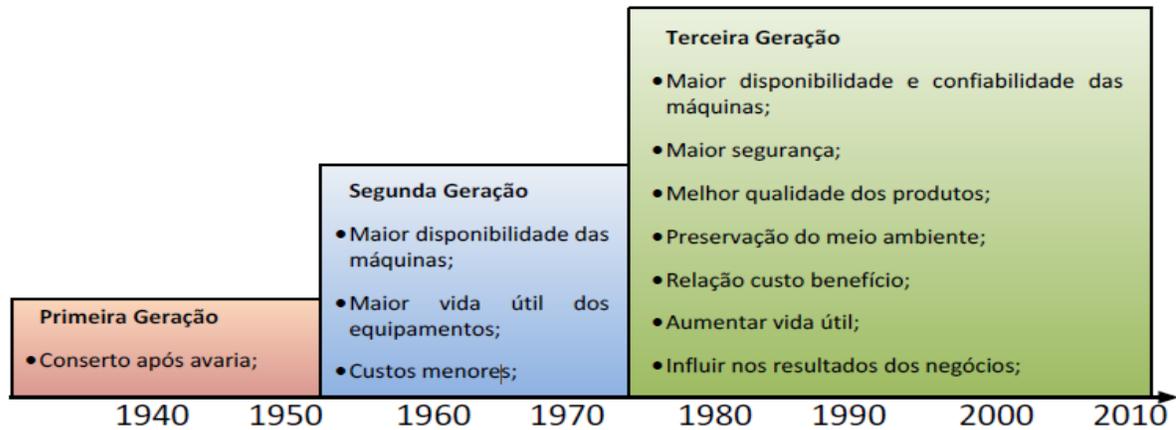


Figura 1-2 : Evolução da Manutenção (Fonte: Moubray, 1997)

2.2.1. Primeira Geração

O desenvolvimento técnico da manutenção é acompanhado pela história da humanidade, tendo seu início com a invenção da máquina a vapor de James Watt (1736-1819), quando houve a necessidade de reparo das primeiras máquinas industriais.

A primeira geração estende-se até a Segunda Guerra Mundial, caracterizada por uma indústria altamente mecanizada, com sistemas simples e de capacidade superdimensionada, onde o desempenho não era um fator crucial, permitindo tempos inativos do sistema. Como consequência, as atividades de manutenção se resumiam a correctivas executadas após uma falha ou defeito e rotinas operacionais como atividades de limpeza, controle e lubrificação (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

2.2.2. Segunda Geração

O ponto de partida para a segunda geração foi o período pós-guerra, final dos anos 50, marcado pela grande demanda de produtos, serviços e pela escassez de mão-de-obra especializada. Isso acarretou uma mecanização ainda maior do processo de produção, que com a disseminação da linha de produção contínua, apresentava máquinas mais numerosas e complexas, aumentando os custos relacionados à manutenção (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

Estes factores criaram uma expectativa em relação ao desempenho das máquinas, evidenciando a necessidade de garantir sua confiabilidade e disponibilidade, visando atender a demanda de produção e diminuir os custos operacionais decorrente das falhas (KARDEC e NASFIC, 2009).

É na segunda geração que aflora a ideia de antecipar a ocorrência de uma falha, através de revisões gerais com uma periodicidade determinada, surgindo o conceito de manutenção preventiva ou Manutenção Baseada no Tempo (TBM). Outra contribuição dessa geração foi o início de pesquisas científicas no desenvolvimento de técnicas de manutenção baseadas na disponibilidade e desempenho do equipamento, conhecida como Manutenção Baseada em Condições (CBM) ou manutenção preditiva.

2.2.3. Terceira Geração

A partir da década de 70, as técnicas de manutenção oriundas da primeira e segunda geração, mostram-se pouco eficientes frente às novas exigências dos processos de produção, e da automação ocorrida nas indústrias. A utilização do sistema “*just-in-time*”, onde se trabalha sempre com o menor estoque possível, agravou as consequências que uma falha poderia causar sobre toda a produção (KARDEC e NASFIC, 2009; MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

Conforme Moubray (1997) nessa geração os sistemas começaram a ser projectados para trabalhar com uma maior precisão, sendo dimensionados nos limites operacionais, aumentando a importância da disponibilidade e confiabilidade, visando a elevar o padrão de produtividade e de qualidade.

Moubray (1997) cita três fatores principais para o surgimento da terceira geração:

- ✓ Novas expectativas dos equipamentos;
- ✓ Novas pesquisas e;
- ✓ Novas ferramentas e técnicas de manutenção.

Durante essa geração ocorreu:

- ✓ Descoberta de novos modos de falhas e avanço no desenvolvimento e aplicação da manutenção preditiva;
- ✓ Utilização de sistemas informatizados para o planeamento e controle da manutenção;

- ✓ Nascimento e desenvolvimento do conceito de confiabilidade na Engenharia de Manutenção e maior ênfase dos projectos industriais na confiabilidade e manutenção;

Uma vez que as empresas possuíam a maturidade dos conceitos e aplicações das acções de manutenção, iniciam a adopção de uma estrutura para desenvolvimento do conjunto de ferramentas utilizadas, com objectivo de gerir e operar a manutenção sob um sistema organizado, culminando no surgimento das metodologias de manutenção:

- ✓ *Reliability Centered Maintenance* (RCM) na indústria aeronáutica americana;
- ✓ *Total Productive Maintenance* (TPM) no Japão;
- ✓ Tero tecnologia na Inglaterra e combinação destas técnicas (GUTIÉRREZ, 2005; KARDEC e NASCIF, 2009; MOUBRAY, 1997).

É essencial salientar que essas metodologias não foram adoptadas de forma cronológica e sequencial ao seu desenvolvimento, e sim adaptadas, conforme a necessidade de cada empresa. Isto possibilitou um desenvolvimento da manutenção, conciliando-a com ferramentas de outras ciências e orientando seus resultados para: negócios, competitividade, inovação tecnológica, logística e gestão de ativos (GUTIÉRREZ, 2005; KARDEC e NASFIC, 2009; TAVARES, 1999). O desenvolvimento das principais técnicas e filosofias de manutenção são apresentadas na figura 2:

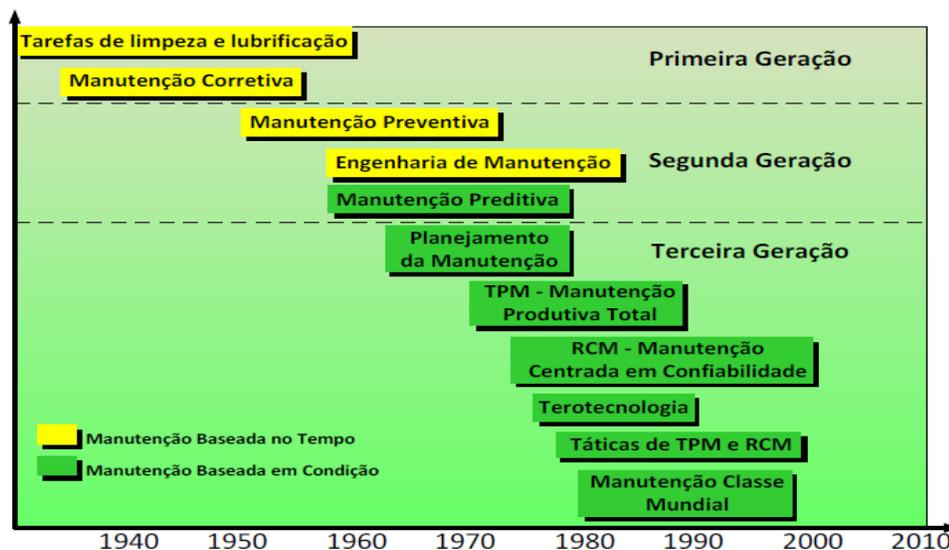


Figura 2-2: Filosofia de manutenção (Fonte: Kardec e Nasfic, 2009)

2.2.4. Interação entre as Fases

A fase de instalação deve prever cuidados com a qualidade da implantação do projecto e as técnicas utilizadas para esta finalidade. Quando a qualidade não é apurada, muitas vezes são inseridos pontos potenciais de falhas que se mantêm ocultos por vários períodos e vêm a se manifestar muitas vezes quando o sistema é fortemente solicitado, ou seja, quando o processo produtivo assim o exige, ou seja, normalmente quando se necessita de maior confiabilidade.

As fases de manutenção e operação terão por objetivo garantir a função dos equipamentos, sistemas e instalações no decorrer de sua vida útil e a não degeneração do desempenho. Nesta fase da existência, normalmente são detectadas as deficiências geradas no projecto, seleção de equipamentos e instalação. Não existindo a interação entre as fases citadas, nota-se que a manutenção encontrará dificuldades de desempenho das suas actividades, mesmo que se apliquem nelas as mais modernas técnicas. A confiabilidade estará num patamar inferior ao inicialmente previsto.

2.2.5. Importância da Manutenção

Aos seus problemas tradicionais vieram juntar-se agora as economias de energia, a conservação do meio ambiente, a renovação dos equipamentos e das instalações, a fiabilidade, a manutibilidade, a eficácia, a optimização dos processos industriais, a sua própria qualidade e a valorização dos seus técnicos.

Sente-se uma importância crescente da manutenção como um dos vectores fundamentais da economia das empresas. [Mário Brito e Eurisko, 2003]

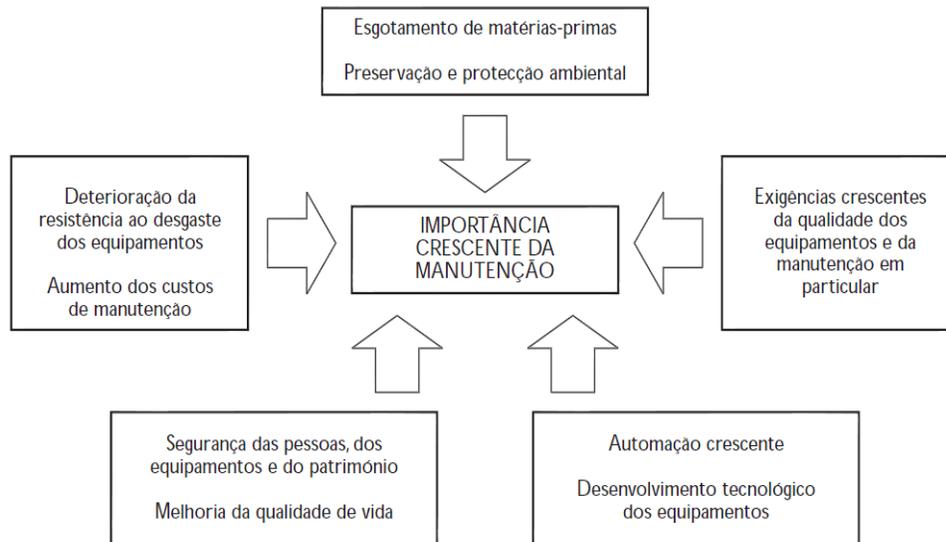


Figura 3-2: Importância Crescente da Manutenção (Fonte: Mário Brito e Eurisko, 2003)

2.2.6. Tipos de Manutenção

2.2.6.1. Manutenção Correctiva

A manutenção correctiva é a atuação para a correcção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos realizando manutenção correctiva. Sendo assim, a manutenção correctiva não é necessariamente, a manutenção de emergência. Podemos ter duas condições específicas que levam à manutenção correctiva:

- ✓ O equipamento apresenta desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais;
- ✓ Ocorrência de falha.

Então a principal função da Manutenção Correctiva é **Corrigir** ou **Restaurar** as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

Podemos dividir a Manutenção Correctiva em duas classes:

- ✓ Manutenção Correctiva Não Planeada;
- ✓ Manutenção Correctiva Planeada.

2.2.6.2. Manutenção Correctiva Não Planeada

É a correcção da falha de maneira aleatória, caracterizando-se pela atuação da manutenção em um facto já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor que o esperado. Não há tempo para a preparação do serviço. Infelizmente ainda é mais praticado do que se deveria. Normalmente a manutenção correctiva não planeada implica em altos custos, visto que a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perda na qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção. Além disso, quebras aleatórias podem ter consequências bastante grave para o equipamento, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior

No caso de uma empresa ter a maior parte de sua manutenção correctiva na classe de não planeada, o seu departamento de manutenção acaba sendo comandado pelos equipamentos e o desempenho da empresa, certamente, não estará adequado às necessidades de competitividade atuais.

2.2.6.3. Manutenção Correctiva Planeada

A manutenção correctiva é a correcção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela actuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar o equipamento até a sua quebra. Visto que um trabalho planeado é sempre mais barato, mais rápido e mais seguro do que um trabalho não planeado. E será sempre de melhor qualidade. A característica principal da manutenção correctiva planeada é função da qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento. Mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planeamento pode ser feito quando a falha ocorrer. Podemos citar, por exemplo, substituir o equipamento por outro idêntico, ter um Kit de reparo rápido. A adopção de uma política desse tipo de manutenção pode se originar de vários fatores:

- ✓ Melhor planeamento dos serviços;
- ✓ Possibilidade de compatibilizar a necessidade da intervenção com os interesses da produção;
- ✓ Aspectos relacionados com a segurança-falha não provocam nenhuma situação de risco para o pessoal ou para a instalação;
- ✓ Garantia de equipamentos sobressalentes, equipamentos e ferramental;

- ✓ Ter recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços, que podem também ser terceirizados.

2.2.6.4. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva pode ser definida como a atuação de forma a reduzir ou evitar falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (KARDEC; NASCIF, 2009).

Esta manutenção apresenta uma melhor eficácia quando os intervalos de tempo estão determinados. Conseqüentemente pode, também, ser considerada uma menos valia a sua prática, podendo ocorrer uma tendência natural de se realizar intervenções em períodos de tempos menores, contribuindo para uma eventual troca desnecessária de peças.

Para a aplicação deste tipo de manutenção, é muito comum alinhar a ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade. A partir destas ferramentas, pode ser decidido para cada possível falha seu nível de risco e decidir se vale a pena trocar preventivamente ou esperar até a falha e ainda, caso admita-se trocar de forma preventiva, qual deverá ser esse tempo de forma otimizada.

2.2.6.5. Manutenção Preditiva

O conceito de manutenção preditiva está inserido na modalidade de manutenção á aproximadamente, oito décadas; porém, como outras modalidades de manutenção, se efectivou como importante ferramenta de produtividade a partir de 1970, sendo que sua evolução se destaca nas duas décadas mais recentes, como discutido por diversos autores da área de manutenção (LIMA; ARANTES, 2008).

É o tipo de manutenção que realiza o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir no instante correcto e predizer as condições dos equipamentos (OTANI; MACHADO, 2008; KARDEC; NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif (2009) ainda colocam que o objectivo da manutenção preditiva é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Segundo Santos (2009), a manutenção preditiva pode fazer o acompanhamento de diversos parâmetros através de alguma das seguintes técnicas:

- ✓ Ensaios elétricos: corrente, tensão e isolamento.
- ✓ Análise de vibrações: nível global, espectro de vibrações e pulsos de choque.
- ✓ Análise de óleos: viscosidade, teor de água e contagem de partículas.
- ✓ Análise de temperatura: termometria convencional e indicadores de temperatura.
- ✓ Energia acústica: ultrassom e emissão acústica.

2.2.6.6. Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva pode ser definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para equipamentos críticos os quais alimentam toda uma planta, alinhados à manutenção preditiva, são formas de manutenção indispensáveis. Tais equipamentos devem possuir disponibilidade altíssima e ainda grande confiabilidade, pois quando precisar parar deve ser planejado.

2.2.7. Engenharia De Manutenções

A engenharia de manutenções é uma forma de gestão da manutenção no sentido que busca a consolidação de rotina e adota uma política de melhoria contínua das actividades de manutenção. Para Kardec e Nascif (2009), a engenharia de manutenções significa perseguir *benchmarks*, ou seja, aprender com empresas líderes de mercado novas técnicas aplicáveis às actividades de manutenção na busca pela excelência. É de responsabilidade da engenharia de manutenção aumentar:

- ✓ A confiabilidade, a disponibilidade e a segurança dos equipamentos;
- ✓ buscar novos projectos;
- ✓ elaborar planos de manutenção e inspeção;
- ✓ fazer análise de falhas; e
- ✓ ainda garantir a capacitação da equipe.

2.2.8. Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total, do inglês *Total Productive Maintenance (TPM)*, se torna uma ferramenta importante para as empresas. Esta é utilizada como uma metodologia da manutenção que, aplicada na empresa, preconiza retornos, como melhoria na qualidade do produto, redução de desperdícios (refugo e/ou retrabalho) e organização nas instalações das mesmas. Além disso, desenvolve conhecimentos capazes de reeducar as pessoas para acções de prevenção e melhoria contínua, garantindo o aumento da disponibilidade do maquinário, gerando maior produtividade, melhor desempenho e motivação pessoal por partes dos funcionários sem muitos investimentos adicionais a manutenção produtiva total, geralmente conhecida como TPM, é a manutenção realizada por todos os empregados, por meio de atividades de pequenos grupos que visam o controle completo dos equipamentos. (YAMAGUCHI, 2005). A TPM surgiu no Japão e é encarada como uma extensão natural da organização fabril. Segundo a metodologia é responsabilidade de cada um cuidar da organização e seus equipamentos.

2.2.9. Manutenção Centrada Em Confiabilidade

A MCC originou-se na indústria aeronáutica americana, porém seus conceitos e técnicas são aplicáveis a outros sectores da indústria. Ela pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril cumprirão suas funções especificadas. O modelo binário é o mais simples usado para representar a condição de um item ou sistema: em funcionamento ou em falha (SIQUEIRA, 2012; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Objectivos da Manutencao Centrada na Confiabilidade:

- ✓ O principal objetivo da MCC é criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve funções, sistema e equipamentos de forma efetiva e com custos aceitáveis;
- ✓ Otimizar o programa de manutenção garantindo as expectativas ligadas a ele;
- ✓ Desenvolver uma estratégia de manutenção planejada para abordar adequadamente a disponibilidade do sistema e sua segurança, sem elevação dos custos.

De acordo com Moubrey (1997) quando implantado de forma correcta, a MCC reduzirá de 40% a 70% a rotina de tarefas de manutenção, com uma série de vantagens e benefícios na segurança, logística, operação e administração das organizações. Para Backlund (2003) a MCC acrescenta também benefícios intangíveis, que geralmente são ignorados por apresentarem um impacto financeiro insignificativo (BACKLUND, 2003).

Os resultados esperados com a implantação da MCC podem ser sintetizados em: redução das atividades de manutenção, otimização do planeamento da manutenção, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, redução dos custos com manutenção, materiais e operação e redução dos riscos (MOUBRAY, 1997).

Se os custos de uma manutenção preventiva forem maiores que o custo associado às perdas operacionais e ao reparo, a manutenção não é vantajosa, a menos que se trate de um requisito normativo ou relacionado à segurança ou meio ambiente (WILMETH; USREY, 2000; BLOOM, 2006). A base de trabalho de um programa de MCC é a definição das funções e dos padrões de desempenho dos equipamentos, seguida da descrição de suas possíveis falhas, bem como da análise de suas causas, consequências e da definição de ações que impeçam ou amenizem sua ocorrência (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). De acordo com Bloom (2006), para utilização da metodologia da MCC, a disponibilidade de informações é obrigatória. Para tanto, é essencial estabelecer um banco de dados que registre e classifique as falhas observadas no sistema, o que permite estudos formais da confiabilidade que servirão de base para o dimensionamento das atividades de manutenção.

2.2.10. Fundamentos da MCC

Garza (2002) afirma que além da introdução de novos conceitos, a MCC apresenta um novo foco para a manutenção em relação ao modelo tradicional, embasando as suas ações em novos objetivos. A tabela 2 apresenta as principais expectativas da manutenção na MCC e no modelo tradicional:

Tabela 2-2: Expectativas do MCC (Fonte: Garza, 2002)

Característica	Manutenção tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objectivo	Manter equipamento	Preservar a função
Actuação	Componente	Sistema
Actividades	O que pode ser feito	O que pode ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Falhas	Consequências das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Baseando-se nessas expectativas a MCC determina a estratégia eficaz de manutenção visando evitar ou reduzir as consequências e efeitos significantes de uma falha, priorizando as necessidades do processo de produção e não do componente ou equipamento de maneira isolada.

2.2.11. Implementação da MCC

O sistema escolhido deve ser relevante do ponto de vista operacional e financeiro, justificando a aplicação da MCC e o envolvimento da alta gerência. As funções padrões de desempenho determinam requisitos de operação do equipamento que atendam satisfatoriamente às necessidades dos processos, sendo a base do estudo. Outro ponto importante considerado pela MCC são as formas com que o equipamento pode vir a falhar e as causas de cada falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Definidas as causas das falhas, é importante avaliar as consequências que cada falha pode trazer ao sistema, de forma a definir um plano de acções eficaz e priorizando as actividades de manutenção preventiva e/ou corretiva necessárias para prevenir ou impedir tais falhas. A Figura 3 mostra uma tabela com o resumo da visão de alguns autores sobre os passos requeridos para a implementação da MCC em uma indústria (SMITH, 1993; MOUBRAY, 1997; EINARSSON; RAUSAND, 1998).

Etapa	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rousand et al. (1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações	Definição das funções padrões de desempenho	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo
2	Definição das fronteiras do sistema	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções	Identificação dos sub-sistemas e componentes	Seleção do sistema
3	Descrição do sistema	Descrição da causa de cada falha funcional	Exame das funções	Análise das Funções e Falhas Funcionais - AFF
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências de cada falha.	Definição das falhas e dos modos de falha.	Seleção dos itens críticos
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas	Definição da importância de cada falha	Identificação das consequências das falhas	Coleta e análise de informações
6	Análise da árvore lógica	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha	Análise do diagrama lógico de decisão	Análise dos modos efeitos e criticidade das falhas
7	Seleção das tarefas preventivas	Seleção de tarefas alternativas	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas de manutenção
8				Determinação da frequência das tarefas de manutenção.

Figura 4-2: Passos para implantação do MCC (Fonte: Fogliatto e Ribeiro, 2011).

2.2.12. Confiabilidade

O termo confiabilidade na manutenção, do inglês *Reliability*, teve origem nas análises de falhas em equipamentos eletrônicos para uso militar, durante a década de 50, nos Estados Unidos. Segundo a norma NBR 5462-1994, confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade $R(t)$ é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade (TATSCH, 2010).

2.2.13. Funções de Confiabilidade

Segundo Cunha et al. (2012) e Fogliatto e Ribeiro (2011), a confiabilidade de um equipamento ou sistema é definida na fase de projecto, mas pode ser gerenciada pela manutenção. As funções mais utilizadas para análise da confiabilidade são:

- ✓ Densidade de falhas $f(t)$;
- ✓ Função acumulada de falhas $F(t)$ e;
- ✓ Função confiabilidade $R(t)$.

2.2.14. Manutenibilidade e Taxa de Reparos

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenibilidade ou mantenabilidade, do inglês *Mainteinability*, pode ser conceituada como sendo a característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção. Matematicamente, pode ser definida de acordo com a equação:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Em que o parâmetro μ é definido como taxa de reparos e descrito pela equação:

$$\mu = \frac{\text{Numero de reparos}}{\text{Numero de horas de operacao}}$$

A manutenibilidade e a taxa de reparos estão diretamente associados ao tempo médio para reparos, em inglês, *mean time to repair* (MTTR). O MTTR é um importante indicador de desempenho e actua directamente no indicador disponibilidade dos equipamentos, além de ser parâmetro de suporte para a determinação da melhor estratégia de manutenção dos componentes.

2.2.15. Falhas

Segundo Siqueira (2012), a classificação, identificação e documentação das falhas é requisito básico da MCC. A classificação é dada por: falha funcional, que é definida pela capacidade de um item desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de performance; falha potencial, que é definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

2.2.16. Taxa de Falhas

A taxa de falhas é definida como o número de falhas ocorridas durante um certo tempo de operação. Matematicamente, pode ser definida pela equação

$$\lambda = \frac{\text{Numero de falhas}}{\text{Numero de horas de operacao}}$$

A Figura 4 mostra a curva característica típica de vida de um equipamento. Conhecida como curva da banheira, classifica comportamentos de equipamentos baseada em sua taxa de falhas e pode ser utilizada como critério de tomada de decisão para estratégias de manutenções.

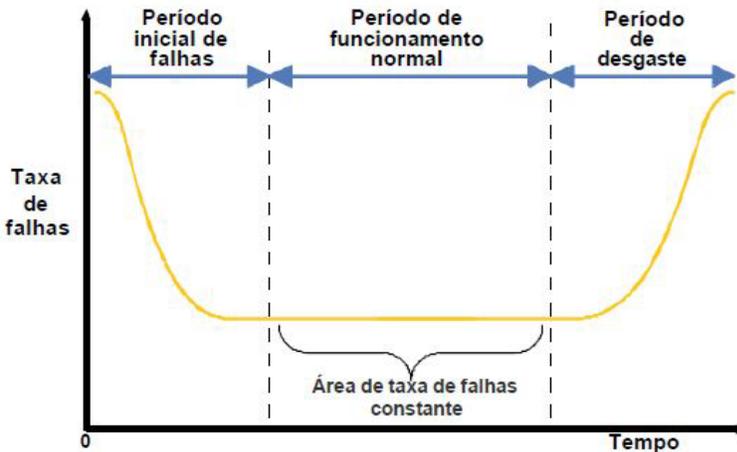


Figura 5-2: Curva da banheira ou característica típica de vida de um equipamento (Fonte: Lafraia, 2001).

Segundo Lafraia (2001) e Sellitto (2005), pode-se utilizar a curva da banheira como função estratégica e definir as três diferentes classificações de comportamentos dos equipamentos:

Mortalidade Infantil: indicada na Figura 4 como o período inicial de falhas, é onde a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas são prematuras, normalmente originadas por deficiências no processo de fabricação, instalação incorreta, ou materiais e componentes fora de especificação. A estratégia para esta fase é a manutenção corretiva, que identifica e corrige deficiências de projeto ou de instalação do equipamento.

Vida Útil: indicada na Figura 4 como o período de funcionamento normal, é onde a taxa de falhas é sensivelmente menor e oscila ao redor de uma média constante. As falhas são casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, tais como: mau uso do equipamento, ultrapassagem de resistência, ou fenômenos naturais imprevisíveis. A estratégia para esta fase é a manutenção preditiva. Tal tipo de manutenção é realizado conforme a necessidade, baseado no resultado de inspeções periódicas.

Mortalidade Senil: indicada na Figura 4 como período de desgaste, é onde, segundo os autores, é o fim da vida útil do equipamento. Neste período, a taxa de falhas é crescente. Essas falhas são

causadas por envelhecimento, degradação mecânica, elétrica ou química, fadiga, corrosão, ou vida de projeto muito curta. A estratégia para esta fase é a manutenção preventiva.

2.2.17. Disponibilidade

Segundo a norma NBR 5462-1994, pode-se definir como disponibilidade, do inglês *availability*, a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

A disponibilidade é o principal indicador da manutenção, pois afeta diretamente a eficiência global da planta, do inglês *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). A disponibilidade é o reflexo directo de todas as acções da manutenção, pois seu cálculo leva em consideração a quantidade de falhas e o tempo de reparo dos equipamentos. Matematicamente, é definida pela equação:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

2.2.18. Tempo Médio entre Falhas

O tempo médio entre falhas, do inglês *Mean Time Between Failures* (MTBF), é um importante indicador o qual está ligado à taxa de falhas e à vida útil do equipamento.

Este indicador é medido pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de falhas e o número de observações. Pode também ser calculado pelo inverso da taxa de falhas, conforme mostrado na equação:

$$MTTR = \frac{1}{\mu}$$

2.3. Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

O FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é uma técnica da MCC que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. Este é um sistema analítico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece recomendações para acções que visam a evitá-las por meio de técnicas de manutenção (SMITH; MOBLEY, 2011).

As falhas encontradas são priorizadas utilizando um índice conhecido como grau de priorização de risco, do inglês *Risk Priority Number* (RPN), composto pelo produto dos seguintes indicadores: severidade (gravidade do modo de falha, obtida pela média aritmética dos valores do impacto do modo de falha em termos de segurança, meio ambiente, qualidade, produção e custo); ocorrência (frequência em que o modo de falha ocorre); e detecção (grau de facilidade para detectar a falha). Para indicar a gravidade da falha, sua frequência e o grau de detecção, adota-se uma escala de 1 a 10, onde 10 sinaliza a situação de maior intensidade (HERPICH; FOGLIATTO, 2013). Define-se o RPN sendo o produto desses três indicadores, conforme a equação abaixo. A Tabela 3 mostra as notas de cada parâmetro do RPN:

$$RPN = Severidade \times Ocorrencia \times Deteccao$$

Tabela 3-2: Número de Prioridade de Risco (Fonte: HERPICH; FOGLIATTO, 2013)

Componente do RPN	Classificação	Peso
Severidade (S)	Muito baixa	1
	Baixa	2, 3
	Moderada	4, 5, 6
	Alta	7, 8
	Muito alta	9, 10
Ocorrência (O)	Muito baixa	1
	Baixa	2, 3
	Moderada	4, 5, 6
	Alta	7, 8
	Muito alta	9, 10
Detecção (D)	Muito provável	1
	Provável	2, 3
	Moderada	4, 5, 6
	Difícil	7, 8
	Muito difícil	9, 10

A sequência de trabalho para elaboração do FMEA pode ser dividida em duas partes, sendo que para cada falha existe a parte de identificação e sua respectiva classificação. Tal sequência pode ser acompanhada pelos seguintes passos:

1. Dividir os processos de operação do equipamento em etapas.
2. Analisar as funções de cada etapa.
3. Isolar e descrever os modos de falha determinados em cada função das etapas.
4. Descrever a causa de cada um dos modos de falhas encontrados.
5. Determinar o efeito de cada um dos modos de falhas encontrados.
6. Determinar a severidade do impacto através de uma média simples dos seus efeitos: segurança, meio ambiente, qualidade, produção e custo.
7. Determinar a frequência de ocorrência da falha.
8. Determinar o nível de dificuldade de detecção da falha.
9. Calcular o RPN através do produto dos fatores: Severidade, Ocorrência e Detecção.

2.3.1. Modos de Falhas

Um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que é susceptível de causar falha a um ativo (sistema ou equipamento). Uma única máquina pode falhar por dezenas de razões.

Um grupo de máquinas ou uma linha de produção podem falhar por centenas de razões. Para uma planta inteira, este número pode chegar a milhares de razões (MOUBRAY, 1997).

2.3.2. Efeitos das Falhas

Primeiramente, deve-se tomar muito cuidado para não confundir a causa da falha com o efeito da mesma quando se faz a listagem no FMEA, pois esse é o erro mais comum feito por pessoas que são novas no processo de MCC. Os efeitos de falha descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Segundo Moubray (1997), os efeitos de falha são os responsáveis por responder a questão “o que acontece?” quando ocorre uma falha.

2.3.3. Custos de Manutenção

A manutenção preventiva tem sido mais popular em princípio do que na prática ao longo dos anos. Dificilmente pode-se argumentar com a ideia de manter o equipamento e estender sua vida útil

esperando evitar custos de reparo futuros. Menos clara ainda é a compreensão da relação real entre o custo da manutenção preventiva e o retorno que tal actividade pode ser esperada para entregar (KOO; HOY, 2003).

Componentes que se desgastam são candidatos para manutenção preventiva. Quando o custo de substituir um componente antes de falhar é menor que o custo de substituir o componente após a falha, faz sentido trabalhar de forma preventiva para manter o componente. O tempo ótimo para o intervalo de manutenções preventivas pode ser encontrado utilizando métodos baseados no custo por tempo para manter um componente.

A manutenção preventiva está diretamente associada a manter um item com uma certa confiabilidade enquanto que a manutenção correctiva está diretamente associada à ocorrência da falha.

Se o produtor aumentar a confiabilidade de seu produto, ele irá aumentar o custo do projecto, porém, para o cálculo do custo total do produto, deve-se incluir os custos de garantia e substituição de produtos defeituosos, custos ocorridos por perda de clientes devido a produtos defeituosos, perda de vendas subsequentes, etc., ou seja, os custos de sustentação do equipamento. Ao aumentar a confiabilidade do produto, pode-se aumentar os custos iniciais do produto, mas diminuir os custos de suporte (NELSON, 2005).

Tal comportamento pode ser visualizado pelas figuras 6 e 7, que representam respectivamente o custo em relação à confiabilidade e o custo de se manter um equipamento:

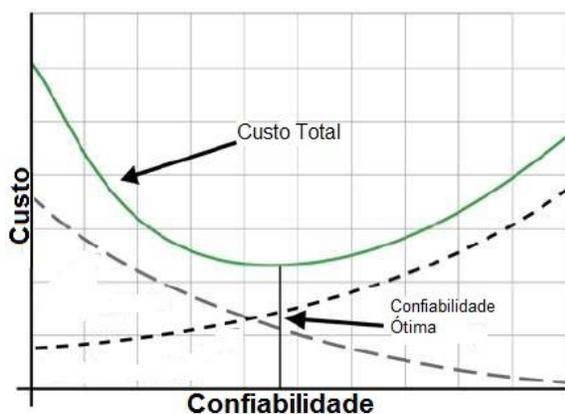


Figura 7-2: Custo em relação a confiabilidade

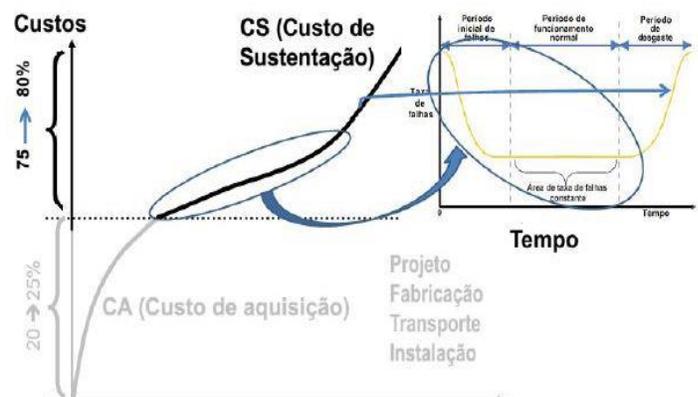


Figura 6-2: Custo de se manter um equipamento

3. CAPÍTULO III - CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1. Apresentação da empresa

A IEM, SA é uma empresa de direito Moçambicana, estabelecida no mercado desde 2011, focada na prestação de serviços no âmbito de instalações especiais, com uma experiência de mais de 20 anos, nos seus quadros comerciais e técnicos.

Sendo uma empresa que há muito atingiu a sua maturidade, mantém ao seu serviço vários colaboradores desde a fundação, que representam uma vasta experiência e conhecimentos, aplicados na realização dos mais diversos projetos e empreitadas.

Temos por missão contribuir para o desenvolvimento da capacidade produtiva dos nossos clientes e garantir o bem-estar dos nossos colaboradores. Defendemos não só os interesses dos nossos clientes, mas também os interesses dos nossos trabalhadores. Com uma visão de um crescimento. No anexo G encontra-se uma imagem representativa do edifício da empresa.

Os nossos serviços

Os nossos serviços contemplam uma vasta área, tendo em conta a atuação na área de instalações especiais.

Nestes termos apresentamos os nossos principais serviços:

- ✓ Instalações de AVAC;
- ✓ Instalações de Telecomunicações;
- ✓ Instalações de Segurança;
- ✓ Instalações Eléctricas;
- ✓ Instalações Especiais;
- ✓ Instalações Renováveis.

Pontualidade nos projectos

Sempre buscamos cumprir todos os prazos de acordo com o combinado. Aliás, esse é um dos nossos valores mais importantes.

Sustentabilidade

Somos conhecidos por utilizar práticas sustentáveis e modernas nos nossos projectos.

Níveis altos de qualidade

A nossa empresa é baseada em um rigoroso sistema de gestão de qualidade, a fim de entregar o melhor resultado aos clientes.

3.2. Descrição do estágio

Neste tópico serão apresentadas as diversas atividades exercidas durante o período de estágio na empresa IEM, S.A.

No início do estágio foi definido que seria necessário ter um conhecimento geral dos clientes e respetivos bens a que estes estão associados, de modo a ter uma noção da dimensão e organização do plano de manutenção que a empresa tem definido. Do estudo efectuado verificou-se que a empresa presta serviços de manutenção maioritariamente para os serviços de instalações de AVAC, eléctricas, telecomunicação, segurança e renováveis.

Nas instalações de AVAC a empresa tem feito intervenções de manutenções em ares-condicionados desde *Split-Mural*, *Multi-split*, *VRV*, *chillers* e *UTA*.

3.3. Estratégia de manutenção da empresa na actualidade

A empresa em estudo apresenta uma estrutura bem definida no departamento da manutenção como podemos observar este é constituído por dois sectores dos quais têm as suas funções bem delineadas.

As formas de manutenção aplicadas nesta empresa são:

- ✓ Manutenção Correctiva;
- ✓ Manutenção Preventiva;

O departamento de manutenção possui um Director de Orçamentação e Manutenção responsável por delegar os gestores de contratos de manutenção, onde cada um destes tem a responsabilidade de gerenciar os contratos, chefes de equipe e supervisionar as actividades de manutenção. Esta empresa trabalha num único turno de oito horas, onde existem equipas residenciais e móveis, em que cada equipa de manutenção é constituída por três elementos no global das secções.

3.4. Intervenções presenciadas

O estágio iniciou no dia 13 de Março de 2023, pelo que houve a oportunidade de participar da primeira fase de intervenções preventivas e correctivas da EDM e na segunda fase de intervenções

na ANE. Durante o período de estágio foram desenvolvidas várias tarefas de ocorrências diárias de intervenções de manutenções preventivas e correctivas em outros clientes da empresa, como ELECTROPLUZ, escritórios do EL-KHAYATE no edifício TOPAZIO e também uma intervenção de manutenção preventiva nas Unidades de Tratamento de Ar (UTA), tendo como guia fundamental os planos de manutenção propostos pelo departamento de manutenção da empresa, sendo estes, plano de manutenção preventiva (Anexo A), e ficha de *check-list* (Anexo B).

No entanto para os sistemas de climatização do ar foram presenciadas as seguintes intervenções:

- ✓ Levantamento de intervenção nos aparelhos de climatização do ar em estado crítico.
- ✓ Os aparelhos usados como amostra para esta análise pertencem a ANE e EDM,

Nesta secção foi feito o levantamento geral de atividades de execução de manutenção correctiva.



Figura 8-3: Unidade condensadora do DEP de Segurança Rodoviária da ANE (Fonte: Autor).

Descricao da fotografia: Serpentina com vazamento de fluido refrigerante;

Causa: Desgaste e corrosão;

Solução: Soldadura por brasagem na zona de fuga;

Estado de execução: Problema solucionado.

Tabela 4-3: Características técnicas do aparelho (Fonte: Autor)

Características técnicas	
Marca	SANYO
Modelo	KRV24AEH
Capacidade	24000BTU
Refrigerante	R22

**Figura 9-3:** Unidade condensadora, subestação da EDM, (Fonte: Autor).

Descricao da fotografia: Fuga na conduta que conecta ao compressor;

Causa: Corrosão, região sofrida por soldadura anteriormente;

Solução: soldadura por brasagem na zona de fuga;

Estado de execução: Problema solucionado.

Tabela 5-3: Características técnicas do aparelho (Fonte: Autor)

Características técnicas	
Marca	INVENTOR
Modelo	UMLT-60
Capacidade	60000BTU
Refrigerante	R410A



Figura 10-3: Unidade condensadora avariados, EDM - SE8, (Fonte: Autor)



Figura 11-3: Motores de ventilação em estado crítico EDM - SE8, (Fonte: Autor)

Descricao da fotografia: Fuga na tubulação que conecta ao compressor, 2 motores de ventilação avariados, placa de circuito de controle do compressor avariada;

Causa: Corrosão na tubulação, sobrecarga elétrica pode ter afetado os motores de ventilação;

Solução: soldadura por brasagem na zona de fuga, substituição dos 2 motores de ventilação e da placa de circuito de controle do compressor;

Estado de execução: Problema solucionado.

Tabela 6-3: Características técnicas do aparelho (Fonte: Autor)

Características técnicas	
Marca	INVENTOR
Modelo	UMLT-60
Capacidade	60000BTU
Refrigerante	R410A



Figura 12-3: Conduta de líquido/expansão congelada, EDM-SE8 (Fonte: Autor)

Descricao da fotografia: Insuficiência de carga de fluido refrigerante que ocasionou no congelamento da conduta de expansão, diminuindo a eficiência de climatização;

Causa: suspeita-se de alguma falha ou vazamento no sistema, ocasionada por falta de cuidado na instalação ou na manutenção do aparelho. Também pode acontecer que o gás do ar-condicionado tenha vindo em quantidade inferior ao necessário já de fábrica.

Solução: Recarregou-se o fluido refrigerante;

Estado de execução: Problema solucionado.

Tabela 7-3: Características técnicas do aparelho (Fonte: Autor)

Características técnicas	
Marca	INVENTOR
Modelo	UMLT-60
Capacidade	60000BTU
Refrigerante	R410A



Figura 13-3: Eliminação de fuga por soldadura, EDM SE-11(Fonte: Autor)

Descricao da fotografia: Fuga na conduta de líquidos;

Causa: Corrosão, região sofrida por uma dobra;

Solução: soldadura por brasagem na zona de fuga;

Estado de execução: Problema solucionado.

3.5. Acções de manutenção preventiva

As acções de manutenção preventiva tiveram como base os procedimentos descritas no plano apresentado no apêndice A. Seguem-se as ilustrações dos procedimentos executados:



Figura 14-3: Verificação do nível do refrigerante (Fonte: Autor)



Figura 15-3: Verificação de eventuais fugas (Fonte: Autor)

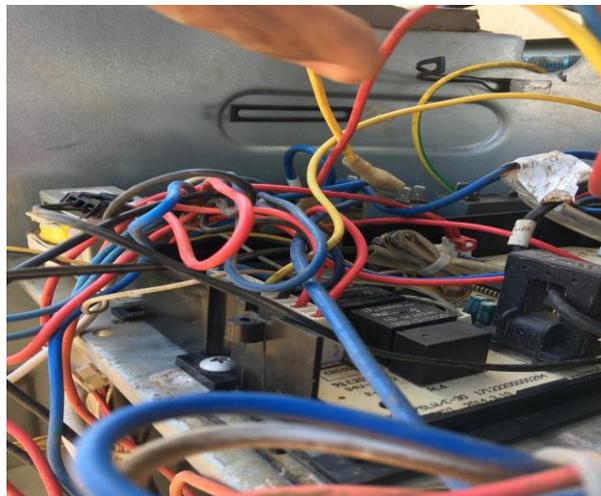


Figura 16-3: Verificação de ligações eléctricas (Fonte: Autor)



Figura 17-3: Limpeza dos filtros de ar (Fonte: Autor)

3.6. Análise de problema

A falta de uma manutenção eficiente nos aparelhos de climatização do ar afecta a saúde dos funcionários que pode ser colocada em risco, envolvendo várias doenças do aparelho respiratório, como também a segurança no caso salas de controle de painéis dos transformadores e de linhas de alta tensão da EDM que é repleta de equipamentos eletrônicos que devem permanecer em uma determinada faixa de temperatura para que não haja explosões ou perda da função geração.

Devido as ocorrências de falhas, fez-se o levantamento de falhas durante o período do estágio e constatou-se que o plano de manutenção definido não é assertivo para garantir a confiabilidade dos ares-condicionados ora monitorados pelas equipes de manutenção, causando várias chamadas de emergência devido a paragem de alguns aparelhos, as vezes várias intervenções num mesmo ar-condicionado dando origem a uma necessidade de análise do plano de manutenção vigente na empresa. por tanto com base nessa análise detectou-se que o motivo de varias ocorrências diárias nesses aparelhos é devido a falta de uma lógica eficiente de desempenho de atividades necessárias para garantir a confiabilidade o que permite a necessidade de melhorar a atual dinâmica de manutenção, favorecendo a gestão, aperfeiçoamento no processo produtivo e resposta eficiente nas intervenções das actividades para garantir maior confiabilidade ao sistema. A falta de um cronograma preventivo para ANE e EDM, culminou numa gestão de manutenção não assertiva, provando assim a razão de várias intervenções de manutenção correctiva.

4. CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo, são apresentadas as estratégias para definição do plano de manutenção, o equipamento escolhido e sua respectiva importância, o levantamento de dados e a utilização dos conceitos apresentados no capítulo 2, como FMEA, análise de custos e de confiabilidade.

4.1. Modelo proposto de manutenção

Os objetivos de um programa MCC, podem se resumir a:

- ✓ Conservar as funções do sistema;
- ✓ Identificação das falhas funcionais e modos de falha;
- ✓ Priorização das funções críticas;
- ✓ Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas; e
- ✓ Aumento da confiabilidade do sistema.

4.2. Implementação do modelo proposto

Este modelo de manutenção, tem por base, eliminar o máximo de avarias com o objectivo de maximizar o rendimento, obter níveis mais altos de produtividade, reduzir os custos, elevar o nível de qualidade, flexibilização, aumento do nível de conhecimento técnico da equipa da manutenção.

4.2.1. Seleção do sistema e colecta de informações

O primeiro passo foi a apresentação da equipe técnica responsável pela manutenção, sendo composta por três técnicos, no qual dois possuem experiência nas áreas de electrotecnia, climatização e um ajudante de serviço. Durante a colecta de informações foi possível constatar a falta de apontamento de registro de algumas informações dos aparelhos de climatização do ar, pode-se dar o caso pela falta de um supervisor na altura, pois o pessoal responsável pela manutenção não registrava o documento na hora e acabava esquecendo os detalhes da actividade.

A falta de informação é indicada como uma das maiores dificuldades na implementação da metodologia da MCC. A falta de apontamento de falhas, motivo e causa das mesmas é um dos principais problemas que atrapalham na análise dos equipamentos. Se não é possível medir,

será difícil definir prioridades. É muito importante estruturar uma base de dados confiável e duradoura.

4.2.2. Definição das fronteiras do sistema

O sistema analisado é em aberto e possui fronteira com o meio, pois uma falha num dos subsistemas tem impacto directo na função principal, além disso, o sistema possui entradas e saídas com outros sistemas encontrados no meio em que se encontra, referencialmente a troca de calor e massa entre os mesmos.

4.2.3. Descrição do sistema

Condicionar o ar é o processo de tratamento de ar, de modo a ajustar simultaneamente a temperatura, a umidade, a pureza, e a distribuição (velocidade) de ar, para atender as necessidades de um determinado recinto (CREDER, 2004).

Para que parte do controle da temperatura, umidade, pureza aconteça, é necessário que o ciclo básico de refrigeração funcione correctamente. O ciclo básico de refrigeração é um ciclo de compressão de vapor hermético (fechado ou selado), que através do gás refrigerante (R-22, R-410A e R-32), e demais componentes adiciona e absorve calor.

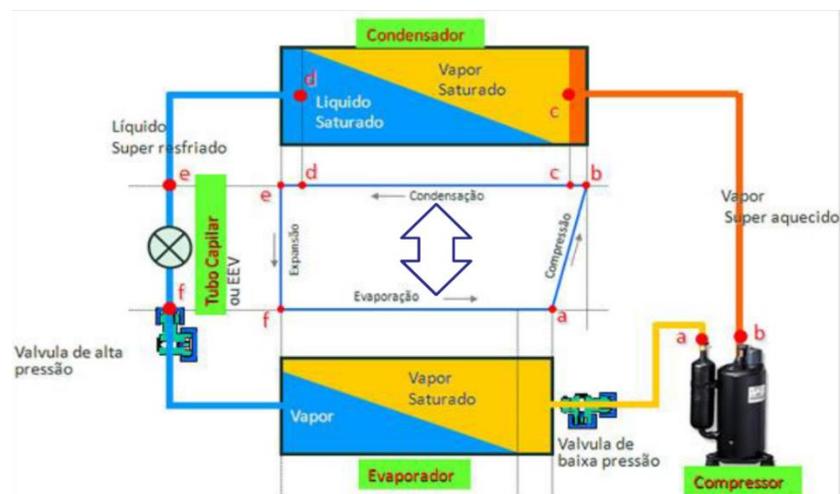


Figura 18-4: Ciclo básico de refrigeração (Fonte: Andaque Viandro, Refrigeração e Climatização, UEM, 2020-2021)

O aparelho condicionador de ar é amplamente utilizado para controle térmico e ventilação em residências, comércios e indústrias e representa um ciclo termodinâmico pois o escoamento de ar ambiente que entra e sai do condicionador de ar através da fronteira do equipamento troca calor com o sistema.

4.2.4. Mapeamento das funções e falhas funcionais

Para a aplicação da FMEA à linha de aparelhos de condicionamento de ar seria necessário o levantamento do histórico de falhas do equipamento, uma parte do resultado não poderia ser alcançado, pois no histórico das fichas de manutenção que são preenchidos pelos técnicos de manutenção, nem todas as falhas estão registradas, assim não seria possível a detecção de falhas específicas do equipamento. A maior parte do levantamento de falhas foi feita durante o período do estágio, onde de forma presente foi possível verificar e anotar as falhas específicas dos equipamentos.

Feito o levantamento, elaborou-se uma planilha de funções e falhas funcionais vista no anexo C onde interfaces internas de saída e os subsistemas funcionais também constituem-se em fonte para especificação das funções do sistema, uma vez que são essenciais ao desempenho do sistema.

4.2.5. Aplicação da Análise dos Modos de falhas e Efeitos (FMEA)

Para a aplicação do FMEA é necessária a definição das etapas do processo de climatização a partir das etapas levantadas os itens (modos, efeitos, gravidade, causas, frequência, detecção e criticidade) são definidos para cada função identificada. Esses pontos ajudarão a identificar o nível de risco de prioridade de cada modo de falha para garantir melhor resposta as actividades de manutenção. No presente estudo de caso, as melhorias se darão no espaço da “Acção Manutenção”, onde se adapta uma lógica de manutenção que torna o estudo relativamente eficiente. Na Tabela da análise de modos e efeitos de falha, vista no anexo D é possível verificar falhas que auxiliam na busca contínua por melhorias transformando dados coletados dos registros de falhas em informações a serem utilizadas na prática pela equipe de manutenção.

4.2.5.1. Análise de criticidade dos itens do condicionador de ar

Esta etapa caracteriza-se por selecionar o nível de risco de prioridade para atribuir de modo adequado a manutenção para corrigir, prevenir ou minimizar o modo de falha, como também o conhecimento técnico de modo a garantir uma resposta rápida a solicitação. Os índices de Ocorrência (O), Detecção (D) e Severidade (S) são constituídas por notas que variam de um a dez determinadas segundo as descrições nas tabelas seguintes:

Tabela 8-4: Descrição de parâmetros para Ocorrência (O) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor)

OCORRÊNCIAS			
Efeito	COD.	Parâmetros	Nota
Remota ou inexistente	P.O1	Raramente esta falha ocorre, provavelmente causada por um agente externo	1
Baixa	P.O2	E pequena a probabilidade da ocorrência desta falha	2
	P.O3		3
Médio	P.O4	E media a probabilidade de ocorrência, ocasionalmente 3 a 4 vezes por mês	4
	P.O5		5
	P.O6		6
Frequente	P.O7	Alta probabilidade de ocorrência, geralmente tem sido frequente	7
	P.O8		8
Extremamente frequente	P.O9	É muito alta a probabilidade de ocorrência	9
	P.O10		10

Tabela 9-4: Descrição de parâmetros para Detecção (D) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor)

DETECÇÃO			
Efeito	COD.	Parâmetros	Nota
Muito provável	P.D1	Pode ser detectado pela visão, tacto, olfato e audição sem auxilio de equipamentos de medição	1
Provável	P.D2	Pode ser detectado pela visão e audição	2
	P.D3	Pode ser detectado por equipamentos de medição	3
Moderado	P.D4	Razoável probabilidade de detecção, necessário o uso de equipamentos de medição	4
	P.D5		5
	P.D6		6
Difícil	P.D7	Baixa probabilidade de detecção, necessário desmontar certos equipamentos	7
	P.D8		8
Muito difícil	P.D9	Mínima possibilidade detecção, desmontagem do equipamento ou troca	9
	P.D10		10

Tabela 10-4: Descrição de parâmetros para Severidade (S) do efeito do modo de falhas (Fonte: Autor)

SEVERIDADE			
Efeito	COD.	Parâmetros	Nota
Muito baixa	P.S1	O efeito da falha não impede funcionamento	1
Baixa	P.S2	O efeito da falha não caso dano no equipamento, nem a segurança	2
	P.S3		3
Moderada	P.S4	o efeito da falha pode causar dano ao equipamento a longo prazo	4
	P.S5	O efeito da falha pode comprometer outros componentes	5
	P.S6	O efeito da falha cria desconforto térmico	6
Alta	P.S7	O efeito da falha necessita de intervenção imediata	7
	P.S8		8
Muito alta	P.S9	O efeito da falha pode resultar em dano permanente ou perda do equipamento	9
	P.S10		10

Em geral, a priorização dos modos de falha para ações de manutenção foi determinada pelo Número de Prioridades de Risco (*Risk Priority Number/ RPN*), obtido por:

$$RPN = O \times D \times S$$

Onde (**O**) corresponde a ocorrência, (**D**) a detecção e (**S**) a severidade.

De acordo com a tabela da Análise de Modos e Efeitos de Falha vista no anexo D, as colunas 4 (Ocorrência), 6(Detecção) e 8(Severidade) foram preenchidas usando um código com a designação (P.O) parâmetro de ocorrência, (P.D) parâmetro de detecção e (P.S) parâmetro de severidade, de modo a minimizar o espaço entre colunas, e na coluna RPN as respectivas notas e a multiplicação entre os parâmetros.

De acordo com os resultados obtidos do RPN, fez-se um *ranking* onde os números estão agrupados por ordem decrescente de índice de prioridade de risco contendo os máximos de cada subsistema descritas no gráfico a seguir:

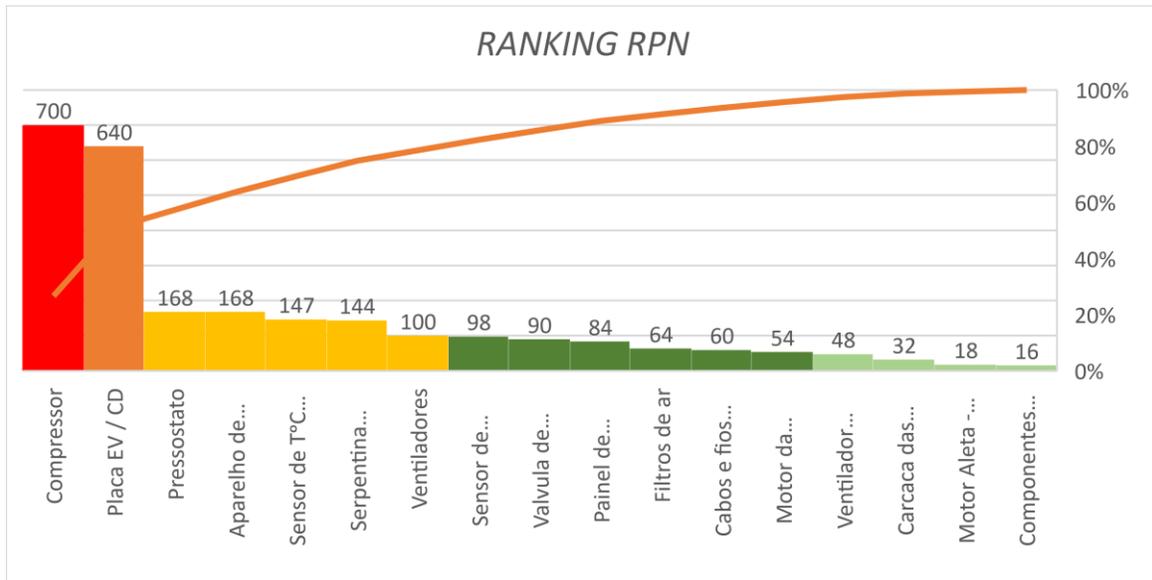


Gráfico 1-4: Ranking RPN para os subsistemas do aparelho condicionador de ar

(Fonte: Autor)

Com a análise de Pareto exposta, observa-se que duas falhas são designadas para intervenções imediatas, cinco são consideradas moderadas, seis leves e quatro muito leves. Desta forma, é facilitada a compreensão dos maiores perigos identificados após a aplicação da FMEA.

Através da tabela do FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas) foi possível melhorar o *Check-List* (Anexo E) que auxilia de forma qualitativa e quantitativa as inspeções preditivas, e o anexo F ilustra um cronograma elaborado com base nos históricos das ocorrências de manutenção onde foi possível verificar actividades de manutenção de forma irregular por falta de um cronograma, também o mesmo mostra o progresso da aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falhas que a partir do mês de Julho mostra um pico elevado de manutenções preventivas.

5. CAPÍTULO V. AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Resultados

Por meio da metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada ao sistema de refrigeração, obtém-se como principal produto garantir a confiabilidade dos aparelhos condicionadores de ar reduzindo atrasos nas manutenções preventivas e perda total do aparelho, isso ocorreu por meio de alteração na lógica das actividades de manutenção. Com essa modificação alcançou-se uma redução de 48% das manutenções correctivas, 25% dos atrasos de manutenção preventiva e um aumento de 36% das manutenções preventivas desde o mês de Março até Julho, conforme o gráfico abaixo:

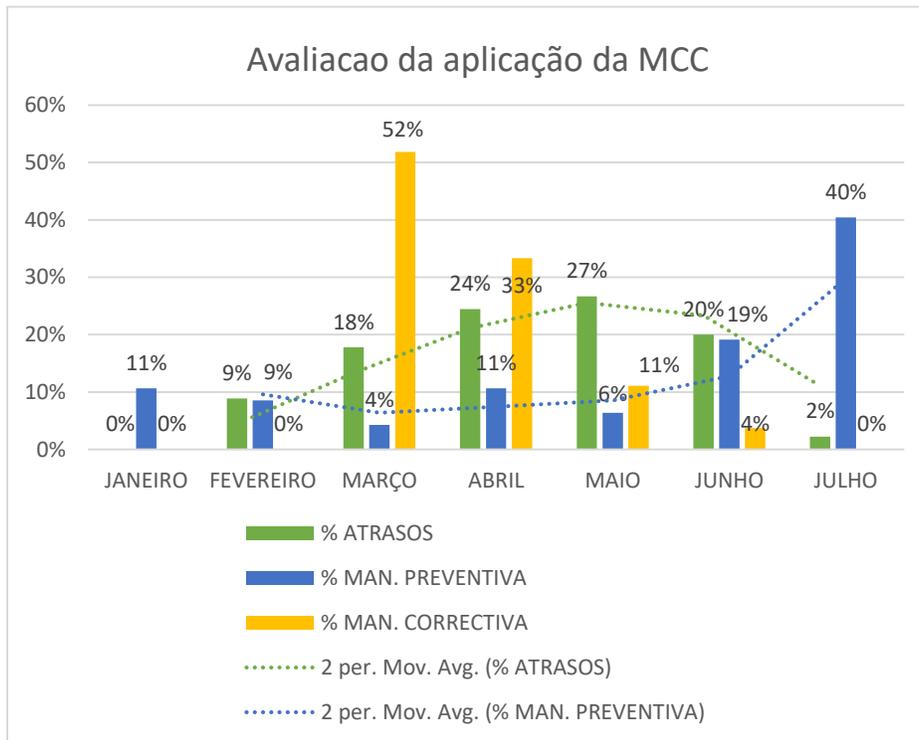


Gráfico 2-5: Avaliação dos resultados após a aplicação da Analise do FMEA (Fonte: Autor)

Desde o mês de Janeiro até Março foram realizadas 24% de manutenções preventivas, uma soma de 27% de atrasos e 52% das manutenções correctivas foram realizadas devido aos atrasos de manutenção e vários aparelhos apresentavam anomalias e com a falta de uma lista com um número exacto das subestações, o número de aparelhos com anomalias crescia.

1.2.8 Avaliação das Facturas

De acordo com a visão do gráfico, as facturas dos primeiros três meses tiveram uma percentagem menor devido a falta de uma gestão da manutenção eficiente, culminando num desequilíbrio financeiro para entidade contratada (IEM, SA.), gerando insatisfação por parte da entidade contratante pela manutenção irregular. Vinculando o gráfico 2-5 com o gráfico 3-5 ainda nos primeiros três meses, referencialmente ao mês de Março é possível verificar uma subida de 22% devido a execução de manutenções correctivas que surgiram de forma emergencial através de solicitações da entidade contratante (EDM, EP.),

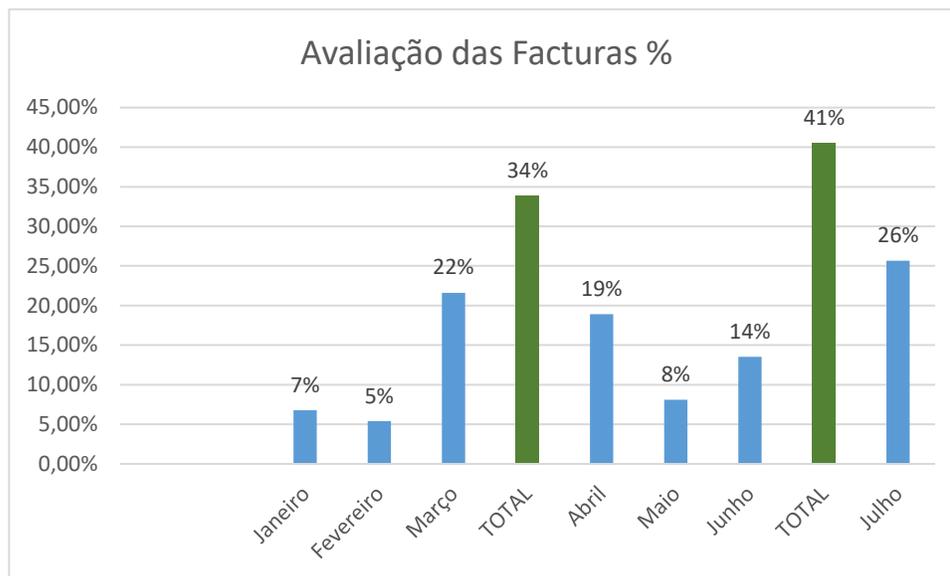


Gráfico 3-5: Avaliação das facturas (Fonte: Autor)

6. CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Através dos resultados analisados no capítulo anterior constatou-se a eficácia da Manutenção Centrada na Confiabilidade com a aplicação da ferramenta de qualidade FMEA mostrando-se valiosa na redução significativa de defeitos, garantindo satisfação da entidade contratante quanto as solicitações de emergência, transmitindo uma boa imagem para o Departamento de Manutenção da empresa. Espera-se que o uso contínuo e aperfeiçoado da ferramenta FMEA permita no futuro alcançar a zero a não conformidade ou defeito e melhorar a confiabilidade do processo. A metodologia MCC também possibilitou identificar potenciais modos de falha que faziam parte da rotina da equipe de manutenção e que ainda não haviam sido contemplados nos planos de manutenção vigentes, além de proporcionar ganhos, operacionais e financeiro, ao melhorar determinadas tarefas que tratavam modos de falhas menos relevantes.

6.2. Recomendações

- ✓ Para manter a eficácia da ferramenta é importante revisar o FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha) durante toda a vida útil do aparelho e assegurar que está sendo corretamente praticada;
- ✓ Para evitar vazamentos do fluido refrigerante nas regiões sofridas por soldadura por brasagem é necessário o uso de retalhos de tubos de cobre para garantir uma boa junta brasada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografia

- ✓ Alexandre Charifo Ali, Lições de Manutenção Industrial, DEMA-FEUEM;
- ✓ Andaque Viandro, Refrigeração e Climatização, DEMA-FEUEM, 2020-2021;
- ✓ MOUBRAY, JOHN; Manutenção Centrada em confiabilidade, 2ª ed.: Lutterworth, Inglaterra: Bookman, 2005;
- ✓ PALADY, PAUL; FEMA – Análise de Modos de Falha e Efeito: Editora Imam;
- ✓ INCROPERA – Fundamentos da Transferência de Calor e Massa, 6ª ed.;;
- ✓ LAFRAIA, J. R. B. (2001) Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Qualitymark: Petrobras, Rio de Janeiro;
- ✓ SISTEMA DE AR CONDICIONADO POR ABSORÇÃO PARA ÔNIBUS. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp064542.pdf> ;
- ✓ CONDICIONAMENTO DE AR E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA – Lucilene Pavanello Gonçalves – São Paulo, 2010. Disponível em: <http://engenharia.anhembri.br/tcc-05/civil-36.pdf>. Acesso em: Abril de 2023;
- ✓ Diagrama de Pareto. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Pareto> Acesso em: Junho de 2023.

ANEXOS

Anexo A – Ficha de Manutenção Preventiva

FICHA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA (FMP)

CLIENTE: _____ DATA ____/____/____

DESIGNAÇÃO DE EQUIPAMENTO: Ar Condicionado - Split System e/ou Multi-Split - Consola

LOCALIZAÇÃO: _____ PERIODICIDADE: _____

ELEMENTO	DESCRIÇÃO DE OPERAÇÕES	REALIZADO			OBSERVAÇÕES
		S	N	N/A	
SPLITS Unidades Exteriores	Verificação do nível do óleo				
	Verificação do funcionamento em regime manual				
	Verificação de nível de refrigerante e eventuais fugas				
	Verificação do funcionamento de compressoras				
	Verificação de temperaturas e pressões				
	Lubrificação de órgãos móveis				
	Verificação de ligações eléctricas				
	Inspeção de ventiladores				
	Limpeza de unidade				
SPLITS Unidades Interiores	Limpeza de filtros de ar				
	Verificação do funcionamento				
	Verificação de temperaturas de insuflação				
	Verificação de comando da unidade				
	Inspeção e lubrificação de órgãos móveis				
	Inspeção de ventiladores				
	Colocação de pastilhas anti "legionela" nos tabuleiros de esgoto				
Limpeza de unidade					
Descrição de anomalias:					
Trabalhos pendentes:					

IMP.01.01.a

MÃO-DE-OBRA								
REGISTOS			HORA				HH's	
Funcionário	Rubrica	Data	Início	Final	Viagem	Trabalho	Previsto	Realizado
SOMAS								

Chefe Equipa

Conforme

Data



FICHA DE IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO		
MODELO	SPLIT	UNDERCEILING/CONSOLA

Designação	Unidade Interior	Unidade Exterior
Marca		
Nº de Série		
Gás	R410	R22
Capacidade em BTU's		
Dados Técnicos		
Localização		
Observações		

Anexo C – Ficha de Falhas Funcionais

	PLANILHA DE DESCRICAO DAS FUNCOES E FALHAS FUNCIONAIS		
	SISTEMA: Ar - condicionado	CLIENTE:	
	SUBSISTEMA:	LOCALIZACAO:	
	Parte electrotécnica (PE)	MARCA:	
	Compressor (CP)	MODELO	
	Condensador (CD)	CAPACIDADE:	
	Evaporador (EV)	REFRIGERANTE:	
	DATA:	__/__/__	

Nº	FUNCAO	Nº	FALHA FUNCIONAL
F - 01 (CD/EV)	Ventiladores - Faz a circulação do ar pelas serpentinas do evaporador e condensador, efectuando a troca de calor;	FF - 01 (PE)	Parada do funcionamento do equipamento.
F - 02 (PE)	Sensor de temperatura - Responsável pela leitura da temperatura do ambiente interno e desarma o compressor	FF - 02 (PE)	Falha na marcação da temperatura.
F - 03 (PE)	Sensor de degelo/serpentina - Monitora a temperatura da serpentina, impede a formação de gelo no equipamento	FF - 03 (PE)	Falha na marcação da temperatura prejudicando o funcionamento do sistema.
F - 04 (PE)	Central eléctrica (Placas CD e EV)- Accionamento dos ventiladores e da bobina do compressor	FF - 04 (PE)	Central eléctrica com componentes queimados.
F - 05 (PE)	Cabos e fios eléctricos - Conduzem a corrente eléctrica por todo equipamento	FF - 05 (PE)	Problemas com conexões eléctricas
F - 06 (PE)	Pressostato - Monitorar a pressão de alta e de baixa	FF - 06 (PE)	Subpressão ou sobrepressão devido a falha no monitoramento
F - 07 (PE)	Painel de controle - Monitoramento da programação da temperatura interna	FF - 07 (PE)	Central eléctrica com componentes queimados.
F - 08 (CP)	Compressor - Sucção, compressão, descarga, aumento da pressão do fluido refrigerante promoção da circulação desse fluido no sistema	FF - 08 (CP)	Baixa eficiência na compressão do fluido refrigerante, insuficiência do gás, ou parada do funcionamento.
F - 09 (CP)	Componentes estruturais do compressor - Fixação do compressor	FF - 09 (CP)	Fixação do compressor solto.
F - 10 (CD)	Serpentina - Trocar calor com o ambiente externo	FF - 10 (CD)	Troca de calor deficiente.
F - 11 (CD)	Válvula de expansão - Reduz a temperatura e pressão do fluido refrigerante proveniente do condensador	FF - 11 (CD)	Superalimentação ou subalimentação
F - 12 (EV)	Serpentina - Responsável por absorver o calor	FF - 12 (EV)	Vazamento de fluido
F - 13 (EV)	Turbina - Distribuir o ar resfriado para o ambiente	FF - 13 (EV)	Distribuição irregular do ar
F - 14 (EV)	Motor ventilador - responsável por girar a turbina	FF - 14 (EV)	Baixa eficiência ou parada do funcionamento
F - 15 (EV)	Motor das aletas - responsável pela movimentação oscilatória das aletas	FF - 15 (EV)	Falha na oscilação
F - 16 (EV)	Filtros de ar - Reter todas impurezas e sujeiras na atmosfera, liberando um ar mais puro	FF - 16 (EV)	Filtração deficiente

Anexo D – Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)



ANALISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA

Sistema:	Refrigeração e climatização	Elaboração:	Luis Moiane
Maquina:	Aparelho de condicionamento de ar	Aprovação:	ENG. Marcos Mandlate
Data de elaboração:	12/04/2023	Nº de Revisão:	Inicial
Área:		Equipe:	Miraldo Nhamona, Abel Magaia e Fernando Langa

Subsistema	Função	Modo de Falha	Ocor.	Causa da Falha	Detec	Efeito da Falha	Sev.	RPN				Acção Manutenção Proactiva
								O	D	S	RPN	
Ventiladores	F01 - (PE)	Placa avariada	P.07	Sobrecarga eléctrica	P.D3	Parada do funcionamento	P.S8	7	3	8	168	Manutenção preditiva no circuito eléctrico e uso de dispositivo de protecção contra surtos (DPS)
		Mau contacto no rele	P.03	Oxidação	P.D2	Superaquecimento	P.S4	3	2	4	24	
		Terminais soltos	P.01	Ma fixação	P.D2	Perda de rendimento	P.S10	1	2			
		Hélice frouxa	P.04	Bobinas/Rolamentos	P.D2		P.S5	4	2	10	80	
Sensor de T°C ambiente	F02 - (PE)	Falta de corrente	P.04	Fraca tensão	P.D5		P.S6	2	7	6	84	Manutenção preventiva
		Sensor em aberto	P.01	Ma conexão eléctrica	P.D7	Defeito na refrigeração	P.S6	1	7	6	42	
		Chicote danificado	P.02		P.D7		P.S7	2	7	7	98	
		Erro na leitura	P.03	Sujeira/Oxidação	P.D7	Mau funcionamento	P.S7	3	7	7	147	
Sensor de degelo	F03 - (PE)	Sensor em curto	P.02		P.D7		P.S6	2	7	6	84	Manutenção preventiva
		Sensor em aberto	P.01	Ma conexão eléctrica	P.D7	Defeito na refrigeração	P.S6	1	7	6	42	
		Chicote danificado	P.02		P.D7		P.S7	2	7	7	98	
Placa EV / CD	F04 - (PE)	Erro na leitura	P.03	Sujeira/Oxidação	P.D7		P.S7	3	7	7	147	Manutenção preditiva no circuito eléctrico e uso de dispositivo de protecção contra surtos (DPS)
		Sensor em curto	P.02		P.D7		P.S6	2	7	6	84	
		Capacitores queimados	P.06	Sobrecarga eléctrica	P.D7	Falha na alimentação dos componentes	P.S8	6	7	7	294	
		Reles queimados	P.06		P.D7		P.S10	8	8	10	640	
Cabos e fios eléctricos	F05 - (PE)	Ponta retificadora	P.05		P.D2	Má conexão		5	2			Inspeções preditivas
		sobreaquecimento	P.02	Sobrecarga eléctrica	P.D3	Incendio	P.S10	2	3	10	60	
		Ma alimentação	P.02	Oxidação	P.D3	Ma alimentação	P.S4	3	3	4	36	
Pressostato	F06 - (PE)	cabos soltos	P.03	Ma conexão	P.D3		P.S8	3	7	8	168	Manutenção preditiva
		Aumento e queda de pressão	P.03	Queimaduras	P.D7	Sem compressão	P.S10	7	10			
Painel de controle	F07 - (PE)	Compressor não desliga	P.07	Sujeira	P.D7	Compressor não desliga	P.S10	7	10			Manutenção preventiva no circuito eléctrico e uso de dispositivo de protecção contra surtos (DPS)
		Reles queimados	P.03	Sobrecarga eléctrica	P.D7	Display desligado	P.S3	3	7	3	63	
Compressor	F08 - (CP)	Círculo impresso interrompido	P.03	Oxidação	P.D7	Falha na programação	P.S4	3	7	4	84	Manutenção preditiva e preventiva
		Fata de tensão	P.08	Capacitor com defeito	P.D8	Perda de rendimento, sem refrigeração ou refrigeração deficiente	P.S8	8	8	8	512	
		Falta de corrente	P.08	Vazamento	P.D3		P.S8	8	8	8	512	
		Falta de gás refrigeram.	P.09	Pressostato com defeito	P.D7		P.S10	9	3	10	270	
		Não liga	P.07		P.D7		P.S7	7	7	7	343	
		Não desliga	P.06		P.D7		P.S9	6	7	9	378	
Queimado	P.07	sobreaquecimento	P.D10		P.S10	7	10	10	700			
Falta de lubrificação	P.07	Vazamentos	P.D10		P.S10	7	10	10	700			

Subsistema	Função	Modo de Falha	Ocor.	Causa da Falha	Detec	Efeito da Falha	Sev.	RPN				Acção Man. Preventiva
								O	D	S	RPN	
Componentes estruturais do compressor	F09 - (CD)	vibrações	P.O4	Parafusos soltos	P.D1	Ruídos	P.S4	4	1	4	16	Manutenção Preventiva
Serpentina aletada	F10 - (CD)	Vazamento de gás refrigerante	P.O8	Oxidação	P.D1	Linhas congeladas	P.S8	8	1	8	64	Manutenção Preditiva
				Empenamento	P.D2	Sem refrigeração	P.S8		2	8		
		Obstrução na troca de calor	P.O9		P.D2	Falha na partida do compressor	P.S8	9	2	8	144	Manutenção preventiva
		Acumulo de sujeira										
						Congelamento na EV	P.S8			8		
Válvula de expansão	F11 - (CD)	Superalimentação	P.O2	Desgaste do bulbo	P.D5	Superaquecimento baixo	P.S9	2	5	9	90	Manutenção Preditiva
				Abertura excessiva		Avaria do compressor	P.S10			10		
		Subalimentação	P.O2	Quebra do bulbo		Superaquecimento alto do compressor	P.S10	2		10		
				Agentes contamina.								
Serpentina aletada	F12 - (EV)	Congelamento	P.O9	Sujeira	P.D2	Pingos de agua	P.S6	9	2	6	108	Manutenção Preditiva
				Falta de gás refrig.	P.D3		P.S8		3	8		
		Fugas	P.O8	Oxidação	P.D2	Sem refrigeração	P.S8	8	2	8	128	
Ventilador turbina	F13 - (EV)	Rotação fraca	P.O4	Sujeira	P.D2	Ruídos	P.S6	4	2	6	48	Manutenção Preditiva
		Falha no Acionamento	P.O2	Transistor/Cl/placa	P.D2	Sem insuflação	P.S8	2	2	8	32	
		Motor avariado	P.O2	sobrecarga eléctrica	P.D3		P.S8	2	3	8	48	
Motor da turbina	F14 - (EV)	Superaquecimento	P.O3	Sujeira	P.D2	Perda de rendimento	P.S9	3	2	9	54	Manutenção Preditiva
				Bobinas/Capacitores	P.D3		P.S8		3	8		
		Rolamentos travados	P.O1	Falta de lubrificação	P.D2	Ruídos	P.S7	1	2	7	14	
Motor Aleta - evaporadora	F15 - (EV)	Engrenagem emperrada	P.O1	Falta de lubrificação	P.D2	Marcha lenta irregular	P.S3	1	2	3	6	Manutenção Preventiva
		Bobina em curto	P.O1	sobrecarga eléctrica	P.D3	Sem oscilação	P.S6	1	3	6	18	
		Terminais em falha	P.O1	Outros	P.D1		P.S6	1	1	6	6	
Filtros de ar	F16 - (EV)	Filtro entupido	P.O9	Sujeira	P.D1	Baixo rendimento	P.S6	9	1	6	54	Manutenção Preventiva
							Mau cheiro	P.S8			8	
		Congelamento	P.O8		P.D1	Vazamento de agua	P.S8	8	1	8	64	
Carcaça das unidades		Corrosão	P.O8		P.D1		P.S4	8	1	4	32	Manutenção Preventiva

Anexo E – Ficha de *Check-List* Actualizado



FICHA DE CHECK - LIST
Condicionador de ar/Split/Cassete/Consola

Cliente: _____
Localização: _____

Data: ___/___/___

Modelo: _____
Marca: _____

Localização: _____
Capacidade: _____

VERIFICAÇÕES/CORREÇÕES					
ITEM	DESCRIÇÃO DE INSPEÇÕES	P	SIM	NÃO	OBSERVAÇÕES
1. Análise externa					
1.1	Ruídos e vibrações anormais				
1.2	Existência de focos de corrosão				
1.3	Tampas de fixação frontais soltas ou aletas				
1.4	Isolamentos obstruídos (troca no caso de dano ou bolor)				
1.5	Limpeza das unidades internas e externas				
1.6	Temperatura de insuflação conforme				
2. Compressor					
2.1	Vazamento de óleo e refrigerante				
2.2	Ruídos ou temperatura anormal				
2.3	Amortecedores de vibração conforme				
2.4	Verificação do nível de óleo, caso necessário				
2.5	Substituição do óleo, se necessário				
2.6	Verificação das pressões de sucção e descarga				
2.7	Verificação da tensão e corrente				
2.8	Bornes, conexões e apertos				
2.9	Verificação dos pressostatos				
2.10	Verificar fixação de alimentação				
3. Circuito Frigogeno					
3.1	Vazamentos				
3.2	Actuação da válvula de expansão				
3.3	Fixação e isolamento do bulbo da válvula de expansão				
3.4	Actuação da válvula solenoide (se houver)				
3.5	Isolamentos das tubulações				
3.6	Vibrações e vazamentos em capilares				
3.7	Pontos de corrosão				
4. Ventiladores					
4.1	Verificar pontos de oxidação				
4.2	Reaperto em terminais eléctricos				
4.3	Verificar a corrente e tensão				
5. Placas/evaporadora/condensadora					
5.1	Verificação dos contactores e reles				
5.2	Verif. de dispositivos de protecção				
5.3	Verif. Ponta retificadora				
5.4	Correntes/tensão				

Supervisor: _____

Cliente: _____

Anexo F – Ilustração das Actividades Irregulares

		PLANO E CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA														
		APARELHOS DE REFRIGERACAO E CLIMATIZACAO														
CLIENTE		ELECTRICIDADE DE MOCAMBIQUE, IP														
PLANO		CRONOGRAMA														
SUBESTACOES		Nº de APARELHOS	Periodicidade Semanal/Mensal/Anual	ANO / 2023												
				Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
Boane	4	TRIMESTRAL		EXECUTADO				ATRASADO	EXECUTADO	PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	PREDITIVA		
Beleluane	8			NÃO REALIZADO				EXECUTADO				PREVENTIVA	PREDITIVA	PREVENTIVA	PREVENTIVA	
Matola Rio	3						EXECUTADO				EXECUTADO		PREDITIVA	PREVENTIVA	PREDITIVA	
Matola Fomento	5			EXECUTADO			NÃO REALIZADO	ATRASADO	EXECUTADO				PREVENTIVA	PREDITIVA	PREVENTIVA	PREVENTIVA
CTM	14			EXECUTADO			NÃO REALIZADO			EXECUTADO			PREVENTIVA	PREDITIVA	PREVENTIVA	PREVENTIVA
Machava	3					EXECUTADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Matola Gare	6					NÃO REALIZADO			NÃO REALIZADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Muhalaze	8				EXECUTADO			NÃO REALIZADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Zimpeto	9				EXECUTADO			NÃO REALIZADO		EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Marracuene	3					NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Jardim	9				NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	EXECUTADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Zona Verde	50			EXECUTADO			EXECUTADO				EXECUTADO		PREDITIVA	PREVENTIVA	PREDITIVA	
Shoprite	4			NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Aeroporto 007	4				NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
TOYOTA SE2	8				NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Felipe Samuel Magaia	4					EXECUTADO			ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
SE-1 Museu	4			NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
UEM -SE5	4			EXECUTADO			EXECUTADO			EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Costa do Sol SE-11	11					ATRASADO	EXECUTADO			EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Ferroviano SE-8	4			EXECUTADO			EXECUTADO			EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Laulane SE-9	4								EXECUTADO		PREDITIVA					
Manhica	3		NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO				PREVENTIVA	PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Ressano Garcia	5			EXECUTADO			EXECUTADO				PREVENTIVA	PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA	
Salamnga	4		NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA		
Fernando Magalhaes	20		NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA		
Corumana	10		NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	NÃO REALIZADO	ATRASADO	ATRASADO	EXECUTADO		PREDITIVA		PREVENTIVA	PREDITIVA		

Anexo G – Imagem Representativa da Empresa



Figura 19: Instalações Electromecânicas de Moçambique, Avenida Vladimir Lenine, Bairro da Coop. Cidade de Maputo