

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ-
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

LUCAS FERREIRA LIMA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA A
CONFIABILIDADE EM CLIMATIZADORES EVAPORATIVOS DA
UTFPR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

LUCAS FERREIRA LIMA

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA A
CONFIABILIDADE EM CLIMATIZADORES EVAPORATIVOS DA
UTFPR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Coordenação de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Professor Me. Luiz Otávio Corrêa.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Ferreira Lima

Aplicação da Manutenção Centrada a Confiabilidade em Climatizadores Evaporativos da UTFPR

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 07/11/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). Luiz Otávio Corrêa - Presidente (Orientador)

Prof(a). Dr(a). Adailton Silva Borges - (Membro)

Prof(a). Me(a). José Aparecido Lopes Junior - (Membro)

A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.

RESUMO

LIMA, Lucas Ferreira. Aplicação da Manutenção Centrada a Confiabilidade em Climatizadores Evaporativos na UTFPR. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

O setor de manutenção, é visto como uma das áreas mais propícias à implementação de melhorias na qualidade dos serviços. Nesse campo, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) tem apresentado ótimos resultados. Metodologia, na qual, permite determinar racionalmente o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue a cumprir suas funções em seu contexto operacional.

Esta pesquisa apresenta a aplicação de uma metodologia de manutenção denominada Manutenção Centrada a Confiabilidade, nos Climatizadores Evaporativos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio. Discute a manutenção dentro da instituição e através da aplicação sistemática da metodologia MCC, sugere novas políticas de manutenção com o objetivo de redução da indisponibilidade do equipamento e paradas para manutenção.

Palavras chave: Manutenção. Manutenção Centrada na Confiabilidade. Climatizadores evaporativos. Ecobrisa.

ABSTRACT

LIMA, Lucas Ferreira. Application of a methodology called Reliability Centered Maintenance (RCM) in Evaporative Coolers of Federal Technological University of Paraná. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

The maintenance sector is seen as one of the most propitious areas for implementing improvements in the quality of management and services. In this respect, Reliability Centered Maintenance (RCM) has presented good results. RCM is a methodology for determining rationally what to do to assure that an equipment continues to fulfill its functions in its operational context

This research presents the application of a methodology called Reliability Centered Maintenance (RCM) in Evaporative Coolers of Federal Technological University of Paraná – Cornélio Procópio. Discusses the maintenance inside the institution and by the systematic implementation of MCC methodology, suggests new maintenance policies with the purpose of reducing the availability of equipment and maintenance.

Keywords: Maintenance. Reliability Centered Maintenance. Evaporative Coolers. Ecobrisa.

LISTA DE ABREVIACÃO

ABNT	Associação Brasileiras de Normas Técnicas
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoas Físicas
CREA-SP Paulo	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São
DI	Detecção Inicial
EEO	Evidente com impacto Econômico e/ ou Operacional
ESA	Evidente com impacto na Segurança e/ou Ambiental
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
MCC	Manutenção Centrada a Confiabilidade
OEO	Oculto com impacto Econômico e/ou Operacional
OI	Ocorrência Inicial
OSA	Oculto com impacto na Segurança e/ou Ambiental
PMOC	Plano de Manutenção, Operação e Controle
SI	Severidade Inicial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
4 DESCRIÇÃO	13
4.1 MANUTENÇÃO.....	13
4.1.1 Definição.....	13
5 METODOLOGIA	17
5.1 DEFINIÇÕES	17
5.1.1 Funções.....	17
5.1.2 Falhas	18
5.1.3 Modos de falha	20
5.1.4 Causa da falha.....	21
5.1.5 Efeitos da falha	21
5.1.6 Consequências da falha	21
5.1.7 Grau de Risco.....	22
5.2 SEQÜENCIA DE IMPLANTAÇÃO	22
6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	25
6.1 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES	25
6.1.2 Sistema hidráulico.....	28
6.1.3 Sistema elétrico	30
6.1.4 Sistema estrutural	32
6.1.5 Sistema Evaporativo	34
6.2 ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITOS	37
6.3 SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES	38
6.4 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS E EFETIVAS.....	40
6.5 ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO.....	45
7 CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE 1	50
ANEXO 1	55

SUMÁRIO

APÊNDICE 2.....	60
APÊNDICE 3.....	62
APÊNDICE 4.....	66

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, em ambientes com alta densidade de pessoas, não é possível imaginar as atividades do dia-a-dia sem o uso de um sistema para climatização. Seja em prédios residenciais, hospitais ou em uma sala de aula, tal recurso deixou de ser um equipamento de luxo para tornar-se algo crítico.

Na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio, um dos sistemas de climatização escolhido, foi o Climatizador Evaporativo EB80 (Ver figura 1), fabricado pela empresa EcoBrisa. Segundo o fabricante, tal equipamento possui a capacidade de climatizar uma área máxima de 30 a 80 metros quadrados, consumo elétrico de 196 watts, além de consumir em média 14 litros de água por hora. Na época se tornou uma escolha viável para a climatização dos ambientes da instituição.

Figura 1 – Climatizador evaporativo EB80



Fonte: Catálogo Aecweb, 2016, p.01

Após alguns anos, com uma manutenção que não é planejada e otimizada, observou-se um crescimento na indisponibilidade do equipamento devido a falhas. Em virtude dos altos índices de parada para manutenção de tal equipamento na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Cornélio Procópio, acredita-se que, a atualização e implementação de programas e ferramentas voltadas a manutenção mais eficazes, tal como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), pode levar a uma melhoria no serviço e a redução das paradas indesejáveis.

A aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade assegura o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos itens físicos, além de

aumentar a produtividade, a segurança operacional e ambiental. O ativo objeto de estudo deste trabalho, é o climatizador evaporativo EB80.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral e os específicos do trabalho são apresentados a seguir:

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a Manutenção Centrada na Confiabilidade, organizá-la e adaptá-la a realidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Cornélio Procópio, desenvolvendo um programa de MCC, para assim, facilitar as tarefas de manutenção, diminuindo a indisponibilidade do equipamento estudado neste trabalho, Climatizador Evaporativo EB80.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Abaixo estão listados os objetivos específicos:

- a) Realizar um estudo técnico do aparelho, documentar e entender seus sistemas, subsistemas, funções, e demais aspectos de engenharia;
- b) Detalhar um procedimento para implantação de programas de MCC, adaptando a realidade da instituição;
- c) Executar as etapas de desenvolvimento de um programa de MCC de acordo com a necessidade e realidade da manutenção local;
- d) Estudar as melhores técnicas de manutenção de forma viável a instituição;
- e) Apresentar os conceitos, métodos e tarefas de manutenção, com ênfase na Manutenção Centrada na Confiabilidade;
- f) Descrever e analisar a implementação da MCC nos Climatizadores Evaporativos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Cornélio Procópio;

- g) Ampliar a bibliografia sobre o tema Manutenção Centrada Na Confiabilidade, com ênfase voltada ao segmento de climatização evaporativa.

3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Atualmente a instituição possui cerca de 150 climatizadores evaporativos fabricados pela empresa Ecobrisa, modelo EB80, equipamentos que necessitam de um elevado número de manutenção, ocasionando um grande transtorno aos servidores e alunos que necessitam deste equipamento crítico para o conforto térmico, que conseqüentemente, influencia em uma perda de desempenho nas atividades desenvolvidas pelos indivíduos em tal ambiente.

Este trabalho pretende estabelecer um programa mais adequado de manutenção de modo a minimizar ao máximo a indisponibilidade do equipamento e facilitar as intervenções de manutenção. Com o uso do MCC a instituição irá dispor de maior tempo de sua mão de obra técnica e do equipamento.

4 DESCRIÇÃO

Este capítulo apresenta o embasamento teórico sobre a Manutenção Centrada na Confiabilidade.

4.1 MANUTENÇÃO

4.1.1 Definição

A norma NBR 5462 (ABNT, 1994) da Associação Brasileira de Normas Técnicas define o termo “manutenção” como a combinação de todas ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Considerar-se-á “Item” como qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

4.1.2 História da Manutenção

Pode-se dividir a história da manutenção, de forma geral, em três períodos distintos (MOUBRAY, 1997):

Primeiro período – anterior a 2ª Guerra Mundial, denominado como manutenção da primeira geração na qual a disponibilidade dos equipamentos e a preocupação pela prevenção das falhas não era prioridade. Os equipamentos eram superdimensionados, os projetos eram simples e o seu reparo de fácil execução sendo, portanto, mais confiáveis. A limpeza e a lubrificação eram suficientes, não havendo necessidade de fazê-los de forma sistemática.

Segundo período – denominado manutenção da 2ª geração, iniciou-se na década de 1950, em que o pós-guerra gerou crescente demanda por produtos impulsionando a mecanização das indústrias, com máquinas numerosas e complexas. Planos de manutenção preventiva eram elaborados e passou a existir a preocupação com os tempos de parada dos equipamentos produtivos. O conceito de manutenção preventiva surge, então, aparecendo também a

consideração de que as falhas nos equipamentos podiam e deviam ser previstas. Os custos de manutenção elevaram-se sendo necessário maior controle.

Terceiro período – iniciado em meados da década de 1970, foi denominado manutenção da 3ª geração. Neste período buscou-se novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, passando a existir a preocupação com alta disponibilidade e confiabilidade, sem proporcionar nenhum dano ao ambiente, ter maior segurança, maior qualidade do produto e custos sob controle.

4.1.3 História da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

Nas palavras de Siqueira (2005, p. 33) a origem da Manutenção Centrada na Confiabilidade está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. No campo tecnológico, foram decisivas as pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial em escala mundial, viabilizadas pela evolução da informática e telecomunicações, presentes em todos os aspectos da sociedade atual.

No campo social, este movimento resultou na dependência da sociedade contemporânea em relação aos métodos automáticos de produção. Sua dimensão atingiu níveis suficientes para afetar o meio ambiente e a própria segurança física dos seres humanos. Em paralelo, evoluiu, aliado a uma necessidade ascendente de garantia de segurança física. Na atualidade, exige-se que os processos de projeto e manutenção dos meios de produção não só atendam estes anseios, mas que sejam estruturados de forma transparente e auditável, permitindo à sociedade exercer seu papel de promotora e fiscalizadora.

Estes anseios originaram exigências prioritárias sobre a forma de projetar e manter os processos industriais, motivando o surgimento da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

4.1.4 Definição da Manutenção Centrada na Confiabilidade

Conforme Seixas (2002, p. 33) define MCC como método para desenvolver e selecionar projetos alternativos de manutenção, baseados em critérios econômicos, de segurança e operacionais. Manutenção Centralizada em Confiabilidade utiliza perspectiva do sistema para análise das funções do sistema, das falhas das funções e da prevenção das falhas.

Para Nascif (2000, p. 43) afirma que obtém-se um aumento da disponibilidade, o que permite um aumento de produção.

O MCC é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente. Para ser desenvolvida, a metodologia utiliza sete perguntas sobre cada item em revisão ou sob análise crítica, para que seja preservada a função do sistema produtivo, a saber:

- Quais são as funções e os níveis de desempenho do equipamento no seu contexto operacional atual?
- Quais são as falhas do equipamento que impedem o mesmo de desempenhar suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando cada falha ocorre?
- Como acontece cada falha?
- O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- O que pode ser feito se nenhuma ação proativa for encontrada?

Dependendo das respostas dadas às perguntas acima, a MCC vai sugerir e direcionar o replanejamento do programa de manutenção, de modo a se estabelecer o nível de desempenho aceitável por quem aplica esta metodologia.

4.1.5 Manutenção hoje na UTFPR-CP

A instituição realiza as manutenções, na maioria das vezes utilizando o sistema de manutenção corretiva, que pode não ser a melhor escolha em diversos casos.

Além de que não se encontra, em algumas situações, o histórico de manutenção, estudos para reciclagem dos manuais de manutenção que o fabricante disponibiliza, diversas práticas e metodologias modernas, que poderiam reduzir o tempo de parada dos ativos.

5 METODOLOGIA

Nesse capítulo está descrita a metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. São descritas as etapas e os principais fundamentos e tecnologias a serem empregadas.

Segundo Siqueira, para um bom entendimento da metodologia, primeiramente serão apresentadas uma série de definições associadas à falhas e desempenhos dos itens físicos.

5.1 DEFINIÇÕES

Serão apresentadas algumas definições fundamentais para o desenvolvimento da metodologia.

5.1.1 Funções

Função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de desempenho especificado. É o principal produto da primeira etapa da metodologia MCC, as definições das funções são necessárias à identificação das atividades de manutenção recomendadas para cada sistema.

Como regra geral, deve-se identificar as funções em sua ordem de importância, observando os seguintes aspectos:

- a) Segurança pessoal dos operadores e usuários
- b) Meio Ambiente
- c) Operação da instalação
- d) Economia do processo
- e) Instrumentação e controle

A identificação das funções dos sistemas consiste, em geral, de uma descrição textual, que contém obrigatoriamente sua finalidade ou objetivo e, se possível, os limites aceitáveis de qualidade neste objetivo.

As funções podem ser classificadas em funções principais e funções secundárias e o processo da MCC será sempre iniciado pelas funções principais. A função principal de um item físico está associada, principalmente, à razão pela qual o ativo foi adquirido. O objetivo principal da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções principais. Na maioria das vezes os itens físicos realizam outras funções além das principais. Essas funções são chamadas funções secundárias e podem ser divididas nas seguintes categorias: integridade ambiental, segurança, integridade estrutural, controle, armazenamento, conforto, aparência, proteção, economia, eficiência, contenção, higiene, medição e supérfluos.

5.1.2 Falhas

Uma falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. Prevenir e corrigir falhas constitui os objetivos principais da manutenção. Para isto é necessário conhecer as formas como os sistemas falham. As falhas podem ser classificadas sobre vários aspectos, conforme mostra a figura 2, tais como:

Quanto à extensão: de acordo com sua extensão as falhas podem ser parciais, quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, além dos limites especificados, mas sem perda total de sua funcionalidade; ou completas, quando provocam a perda total da função requerida do item.

Quanto à manifestação: pode ocorrer por degradação, quando ela ocorre simultaneamente de forma gradual ou parcial, podendo tornar-se completa ao longo do tempo, ao contrário das falhas catastróficas, que ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa. E existem ainda as falhas intermitentes, que persiste por tempo limitado, após o qual o item aparentemente se recupera sem ação externa

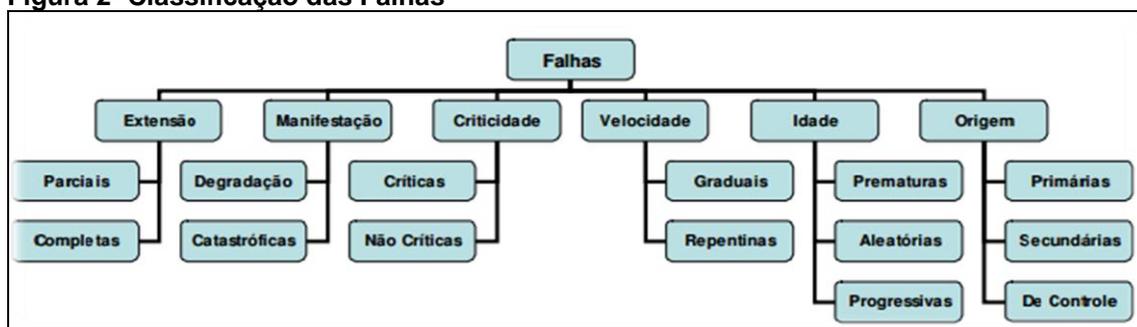
Quanto à criticidade: as falhas críticas seriam aquelas que produzem condições perigosas ou inseguras para quem usa, mantém ou depende do item, ou que podem causar grandes danos materiais ou ambientais, caso contrário, as falhas serão classificadas como não-críticas.

Quanto à velocidade: as falhas podem ser graduais, quando podem ser percebidas ou previstas por uma inspeção antes que ocorram; ou falhas repentinas, em caso contrário.

Quanto à idade: podem ser prematuras, quando ocorrem durante o período inicial de vida do equipamento; ou aleatórias, quando ocorrem de maneira imprevisível, durante todo o período de vida útil do equipamento e ainda as falhas podem ser progressivas, ocorrem durante o período de vida útil, como resultado de desgaste, deterioração e envelhecimento do item.

Quanto à origem: as falhas podem ter origem primária, quando decorrem de deficiências próprias de um componente, dentro dos limites normais de operação; origem secundária, quando se derivam de operação fora dos limites normais, tais como descarga atmosférica, sobrecargas e etc.; ou falhas de comando que se originam de ordens errôneas do operador ou uso inadequado pelo usuário.

Figura 2- Classificação das Falhas



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.42

Para os objetivos da MCC, as falhas são classificadas de acordo com a figura 3.

Falha Potencial: definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

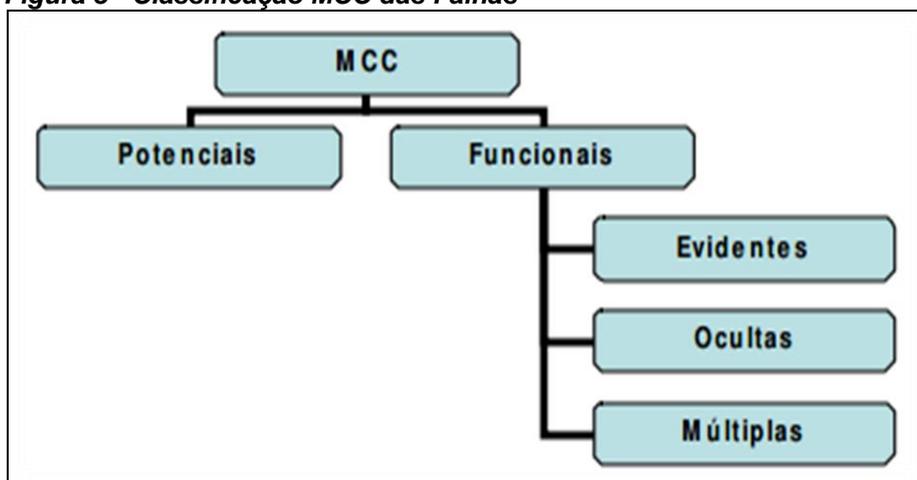
Falha funcional: definida pela incapacidade de um item desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de desempenho. As falhas funcionais podem ser classificadas em:

Falha Evidente: detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal;

Falha Oculta: não pode ser detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal;

Falha múltipla: combinação de uma falha oculta mais uma segunda falha, ou evento, que a torne evidente.

Figura 3 - Classificação MCC das Falhas



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.52

5.1.3 Modos de falha

Um modo de falha é definido como qualquer evento que causa uma falha funcional, ou seja, modos de falha são eventos que levam, associados a eles, uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho.

A identificação dos modos de falha de um item físico é um dos passos mais importantes no desenvolvimento de qualquer programa que pretenda assegurar que o ativo continue a executar suas funções previstas. Quando um sistema ou processo cada modo de falha foi identificado, torna-se possível verificar suas consequências e planejar ações para corrigir ou prevenir a falha. Na prática, dependendo da complexidade de um item físico, do contexto operacional e do nível em que está sendo feita a análise, normalmente são listados vários modos de falha como causas da falha funcional.

Alguns dos modos de falha típicos que podem gerar falha funcional são: fratura, separação, deformação, desgaste, abrasão, desbalanceamento, rugosidade, desalinhamento, trincamento, deficiências da manutenção, etc.

5.1.4 Causa da falha

A causa da falha representa os eventos que geram o aparecimento do modo de falha e pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha pode ser associada a: falha de projeto, defeito do material, deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes, defeitos de instalação e montagem, condições de serviço não previstas ou fora de projeto, erro de montagem ou operação indevida.

5.1.5 Efeitos da falha

Os efeitos da falha é o que acontece quando um modo de falha ocorre. Esta definição evidencia a finalidade do estudo dos efeitos das falhas: pesquisar os impactos dos modos de falha nas funções do sistema e na instalação.

5.1.6 Consequências da falha

As falhas podem afetar a produção, a qualidade do serviço ou do produto, a segurança e o meio ambiente, podendo incorrer em aumento do custo operacional e do consumo de energia. A natureza e a severidade dessas consequências orientam a maneira como será vista a falha.

A combinação do contexto operacional, dos padrões de desempenho e dos efeitos, indica que cada falha tem um conjunto específico de consequências a ela associadas. Se tais consequências forem muito severas, grandes esforços deverão ser realizados para evitar ou reduzir a falha. Porém, falhas que provocam pequenas consequências não requerem que medidas proativas sejam tomadas, nesses casos, é mais sensato corrigir a falha após a ocorrência.

A análise da manutenção por essa ótica sugere que as consequências da falha são mais importantes que suas características técnicas. Dessa forma, qualquer tarefa só deve ser aplicada se tratar com sucesso as consequências da falha e os meios de evita-las. A análise das consequências da falha requer que essas sejam divididas em falhas evidentes e ocultas.

5.1.7 Grau de Risco

O grau de risco é um índice que prioriza as ações a serem tomadas sobre os modos de falha. Esse índice permite uma hierarquização dos modos de falhas, que podem ser classificadas em ordem decrescentes de criticidade.

5.2 SEQÜENCIA DE IMPLANTAÇÃO

O trabalho será composto por 7 etapas, que são baseados nos passos que a bibliografia recomenda para a implantação da metodologia da MCC.

Primeira etapa – Seleção do Sistema e Coleta de Informações

Nessa etapa devemos identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise, conforme mostra a figura 4

Figura 4 - Hierarquização para análise do sistema



Fonte: Autoria própria.

Em geral, utiliza-se o projeto de engenharia como documento de entrada. Além dos resultados documentais, o estudo destes documentos promove um entendimento do funcionamento da instalação, necessário à segunda etapa da metodologia.

Segunda etapa - Análise de Modos de Falha e Efeitos

Nesta etapa são identificadas todas as funções e seus modos de falha, assim como os efeitos adversos produzidos por elas. Utilizando a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), investigam-se os seguintes aspectos da instalação:

- Funções desempenhadas pelo sistema;
- Falhas associadas a cada função;
- Modos como as falhas se originam;
- Efeitos provocados pelas falhas;
- Severidade de cada efeito.

Terceira etapa – Seleção de Funções Significantes

Utiliza um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior, e determinar se uma falha tem efeito significativo, levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo. O estudo de severidade dos efeitos das falhas, resultante da etapa anterior, serve de entrada para uma análise de riscos e consequências, dos quais se deriva uma priorização segundo o grau de significância. Como produto final, esta etapa documenta a relação de funções significantes que serão às etapas subsequentes da metodologia. As demais funções (não significantes) serão documentadas apenas até esta etapa.

Quarta etapa – Seleção de Atividades Aplicáveis

Esta etapa determina as tarefas de manutenção que sejam tecnicamente aplicáveis, para prevenir ou corrigir cada modo de falha, ou amenizar suas consequências, a partir de um diagrama de decisão.

Quinta etapa – Avaliação da Efetividade das Atividades

Esta etapa constitui-se em um processo estruturado para determinar se uma tarefa de manutenção preventiva é efetiva para reduzir, a um nível aceitável, as consequências previstas para uma falha.

Sexta etapa – Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas

Nesta etapa utiliza-se um processo estruturado para determinar a melhor tarefa, baseada em:

- Resultados do Processo;
- Impactos Operacionais;

- Segurança Física;
- Impactos Ambientais.

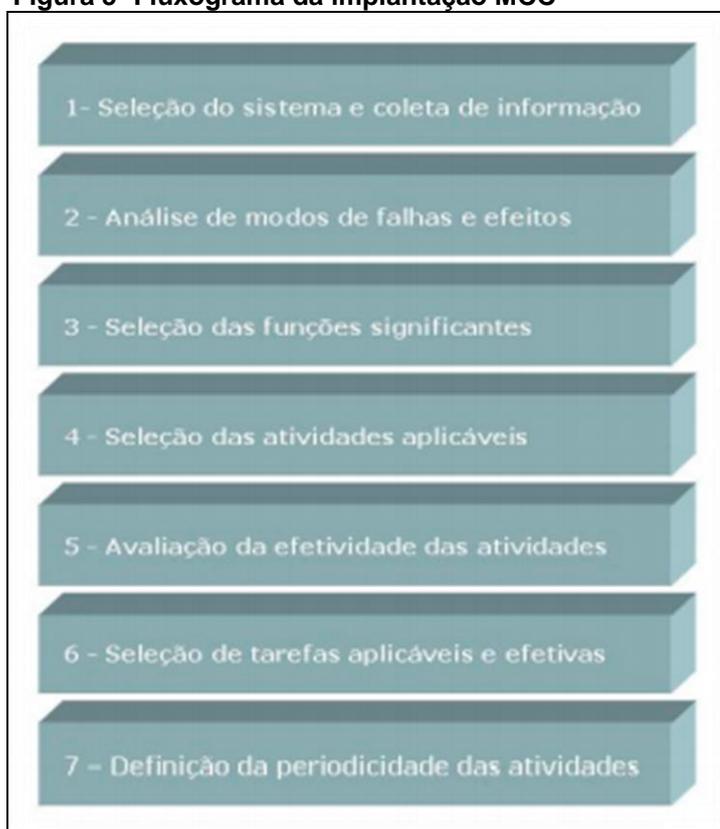
Dois subprocessos são utilizados nesta etapa. Primeiro, uma Árvore de Decisão é usada para classificar a consequência de cada modo de falha. Em seguida, esta classificação é usada por uma Lógica de Decisão para gerar o Plano de Manutenção contendo as atividades aplicáveis e efetivas para cada modo de falha.

Sétima Etapa – Definição da Periodicidade das Atividades

Estabelecem-se os métodos e critérios para definição da periodicidade ou frequência de execução das atividades selecionadas, assim como o planejamento e estruturação do processo de implantação da metodologia.

A figura 5 apresenta o fluxograma de implantação da metodologia, desde a primeira até a sétima e última etapa.

Figura 5- Fluxograma da implantação MCC



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.279

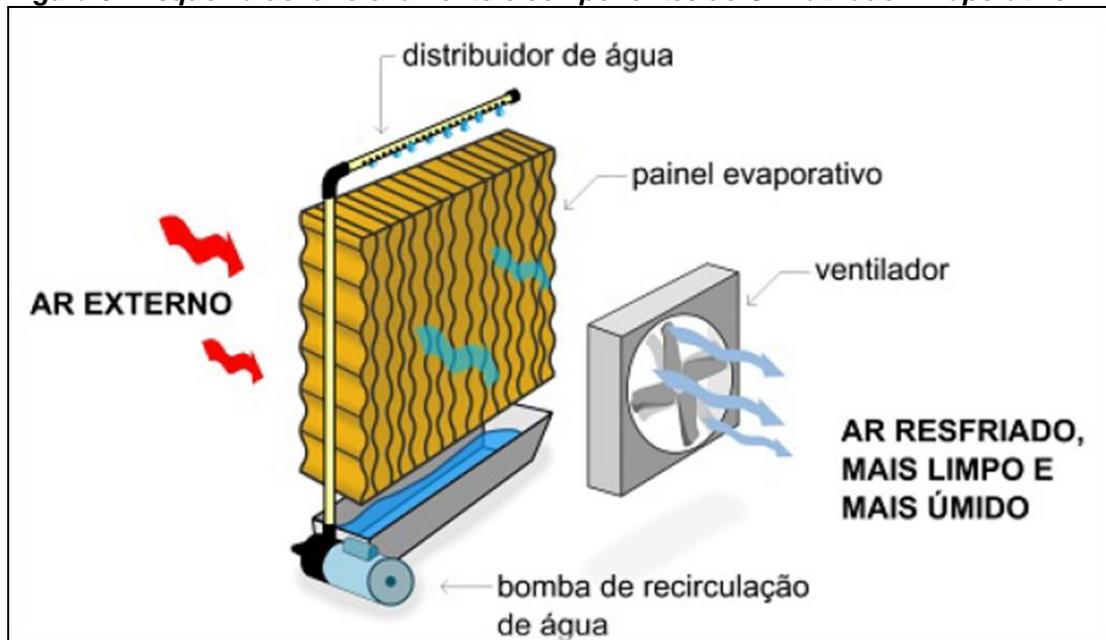
6 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia foi aplicada através de sete etapas, baseadas na bibliografia, para melhor entendimento do aparelho, foi estudado um exemplar do equipamento já utilizado e com necessidade de manutenção.

6.1 SELEÇÃO DO SISTEMA E COLETA DE INFORMAÇÕES

O climatizador é um equipamento autônomo que resfria o ar pelo processo evaporativo. O funcionamento consiste em um sistema de ventilação, A Bomba de Água que faz a circulação da água entre o reservatório do equipamento e a parte superior dos Painéis Evaporativos pelo distribuidor. A água escoar entre os Painéis Evaporativos, que têm uma extensa área superficial exposta à passagem do ar, sendo parcialmente evaporada no processo e causando assim o decréscimo de temperatura (ECOBRISA, 2016).

Figura 6 - Esquema de funcionamento e componentes do Climatizador Evaporativo



Fonte: Catálogo AECWEB¹.

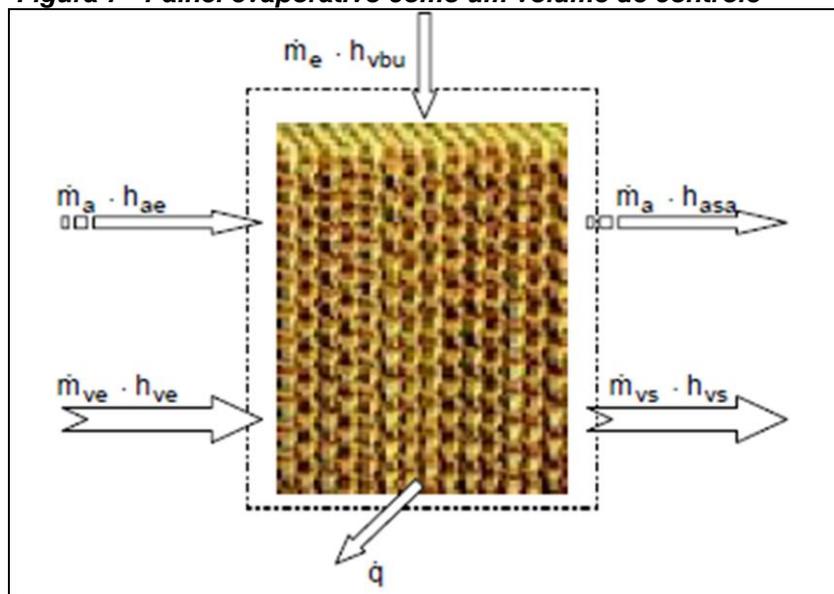
¹ Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/ecobrisa/modelos.pdf>>. p.02.
Acesso em: 14/05/2016.

No painel evaporativo ocorre um fluxo de energias representados na Figura 7, onde:

Energias que entram: Energia do vapor de água na entrada do painel, energia do ar seco na entrada do painel, energia da água que vem pelo distribuidor.

Energias que saem: Energia do vapor de água na saída do painel e energia do ar seco na saída do painel.

Figura 7 - Painel evaporativo como um volume de controle



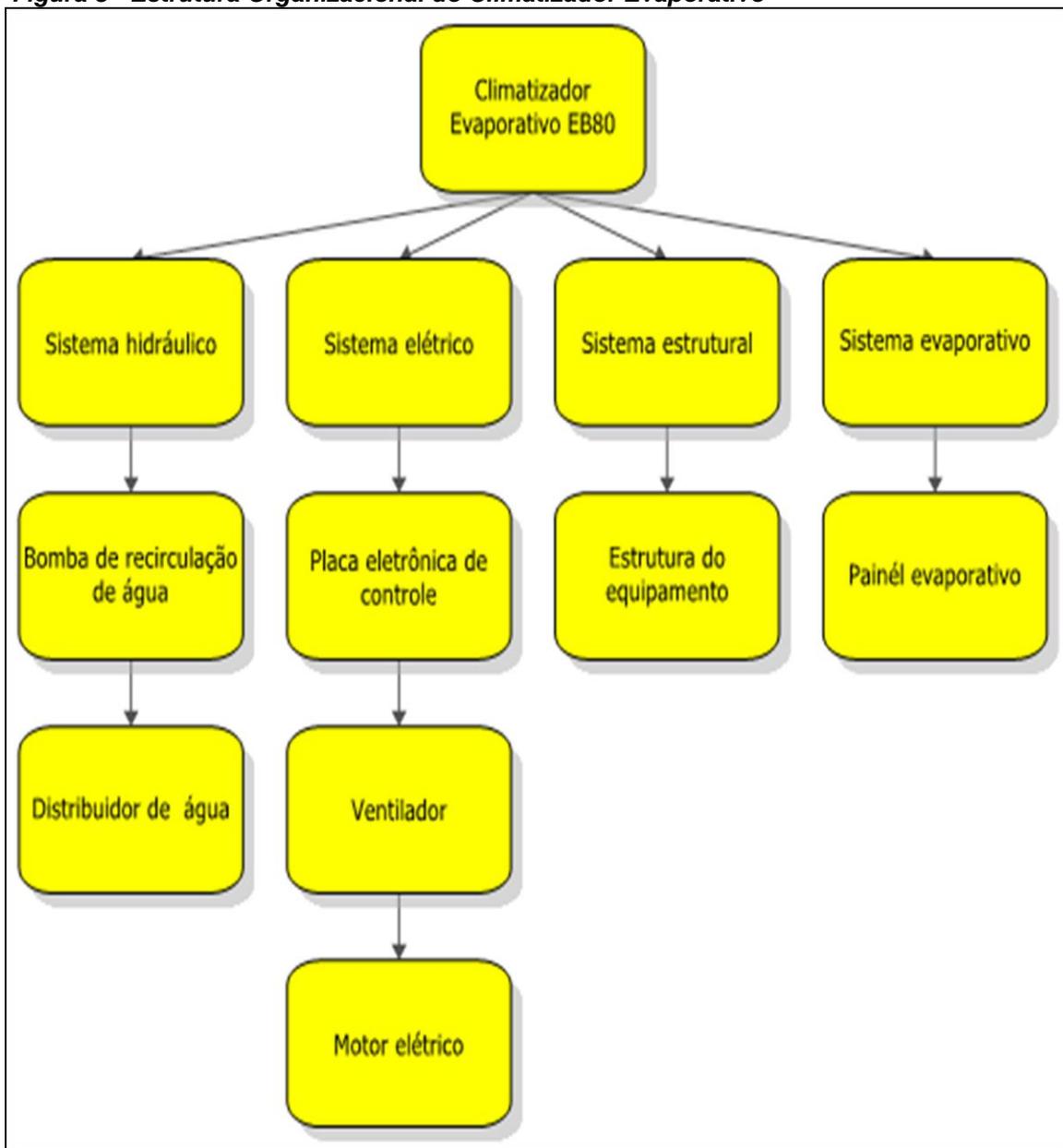
Fonte: Garossi, 2005, p.70

Segundo Siqueira, 2009, sistemas são conjuntos de componentes, físicos ou virtuais, entre os quais se possam encontrar ou definir alguma relação de funcionalidade. Os subsistemas são partições de um sistema multifuncional, especializados na execução de uma ou mais funções do sistema. Para proporcionar a função principal, o equipamento foi subdividido em quatro sistemas: hidráulico, de ventilação, elétrico e estrutural.

Siqueira (2009), também sugere que a na etapa de seleção dos sistemas que serão submetidos à análise da MCC são levados em conta as suas significâncias para a segurança do operador, disponibilidade do equipamento e economia do processo.

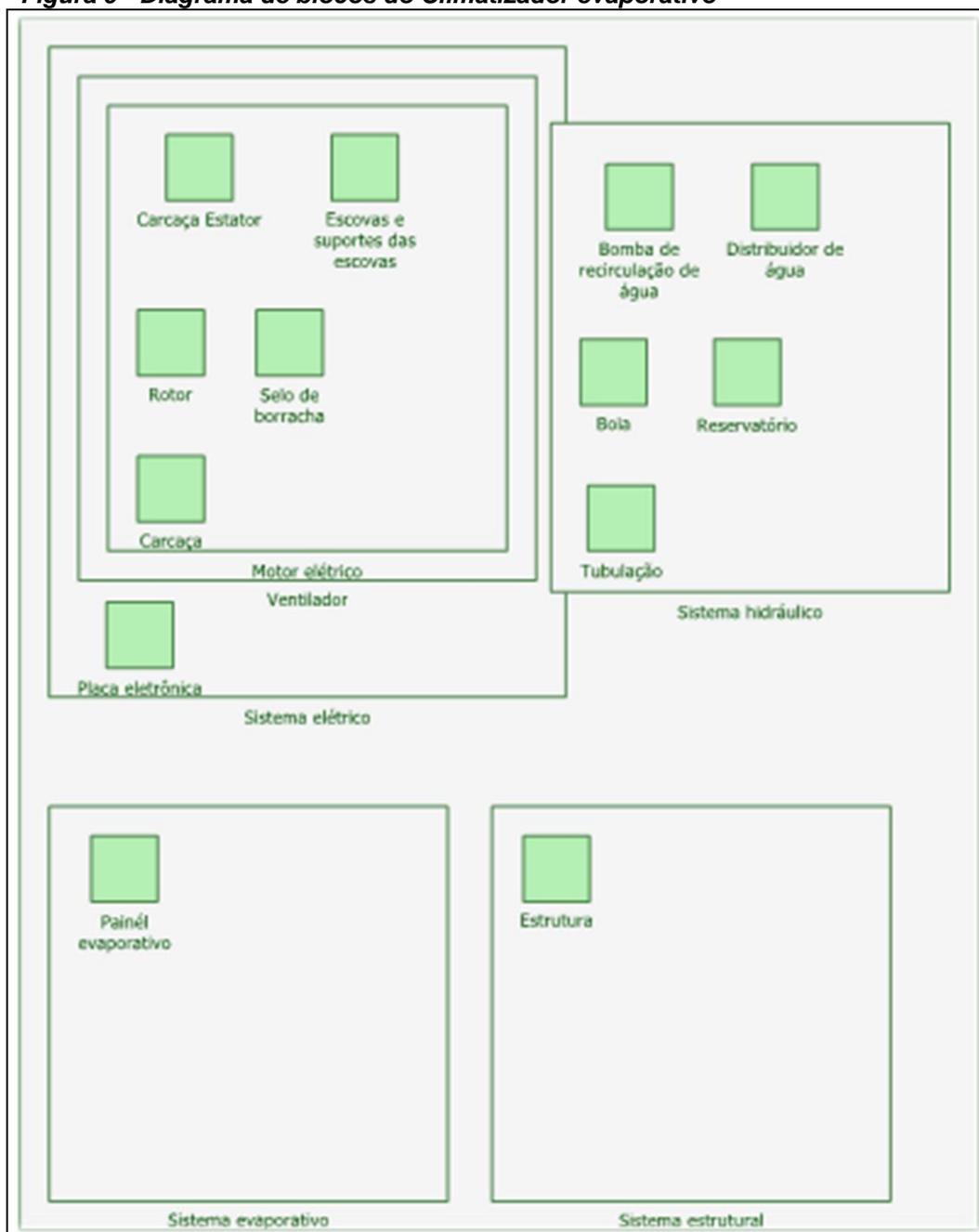
O equipamento estudado sé composto por subsistemas, formando uma hierarquia de vários níveis como mostra a estrutura organizacional na figura 8 e o diagrama de blocos apresentado a figura 9.

Figura 8 - Estrutura Organizacional do Climatizador Evaporativo



Fonte: Autoria própria.

Figura 9 - Diagrama de blocos do Climatizador evaporativo



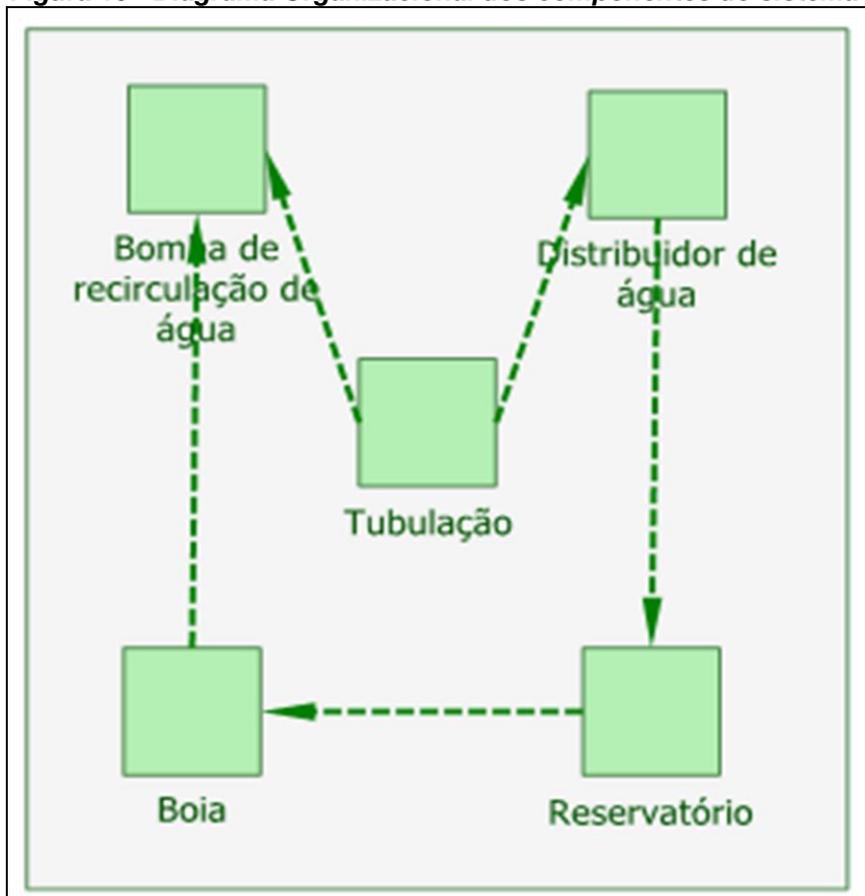
Fonte: Autoria própria.

6.1.2 Sistema hidráulico

O fluido (água) já limpo, armazenado em uma caixa d'água na instituição é encanado até o reservatório do climatizador que por meio de uma bomba hidráulica que adiciona energia ao fluido, realizando a elevação do mesmo até o distribuidor de água, distribuindo o fluido pelo painel evaporativo através da gravidade. O processo é automatizado pois existe um regulador de nível do

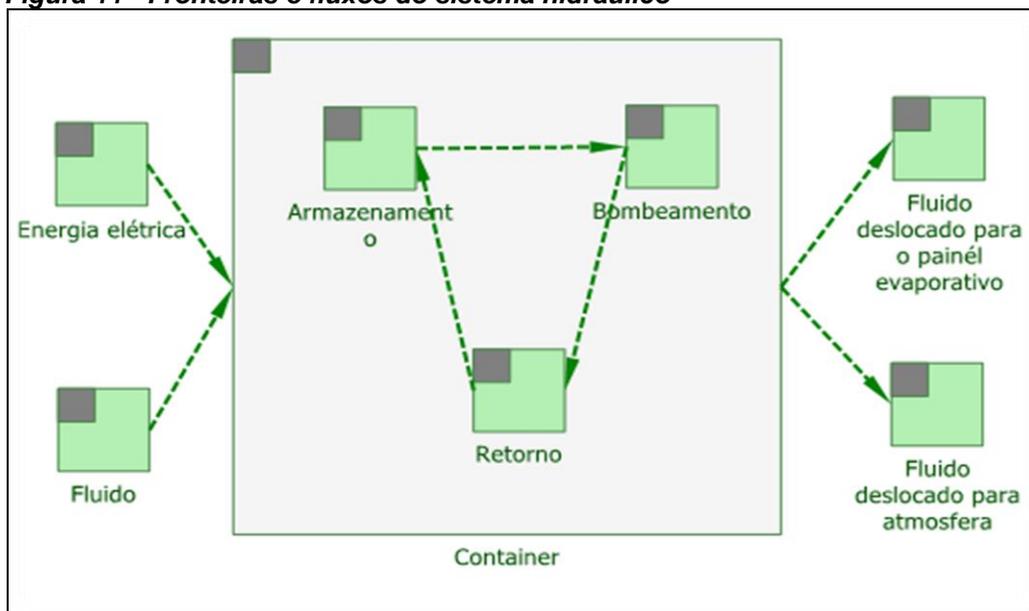
reservatório d'água (torneira boia), um dispositivo que controla o nível do fluido por ação de flutuação acarretando o fechamento automático da vazão de água quando o reservatório se enche e a abertura quando se esvazia parcialmente, tornando um processo cíclico no qual o sistema é canalizado por uma tubulação de PVC. Para um melhor entendimento, foi elaborado o diagrama organizacional dos componentes do sistema hidráulico (Figura 10) e o um esquema das fronteiras e fluxos do sistema hidráulico apresentado na figura 11.

Figura 10 - Diagrama Organizacional dos componentes do sistema hidráulico



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Fronteiras e fluxos do sistema hidráulico



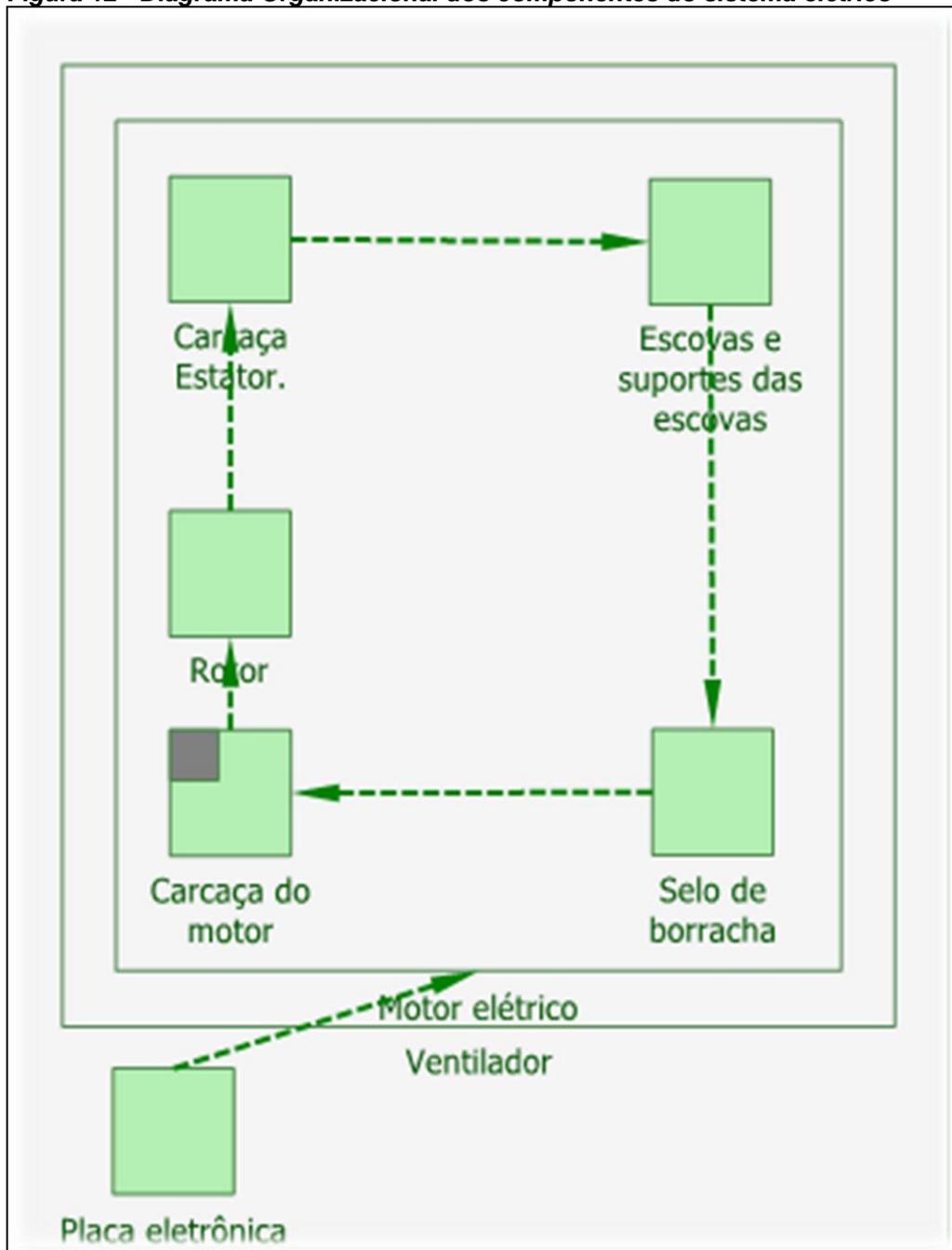
Fonte: Autoria própria

6.1.3 Sistema elétrico

O Climatizador Evaporativo é acompanhado de um *Comando Elétrico* e sua instalação elétrica é relativamente simples, consistindo, além da alimentação elétrica do comando, a interligação elétrica entre este e o climatizador. Com o controle realizado por uma placa eletrônica em que se determina as funções desejadas através de um comando elétrico que deve ser fixado em local interno, para evitar as possibilidades de escoamento de água. Parte integrante do sistema elétrico é o eletro ventilador que é movido por um motor de indução monofásico da WEG com 1045 RPM.

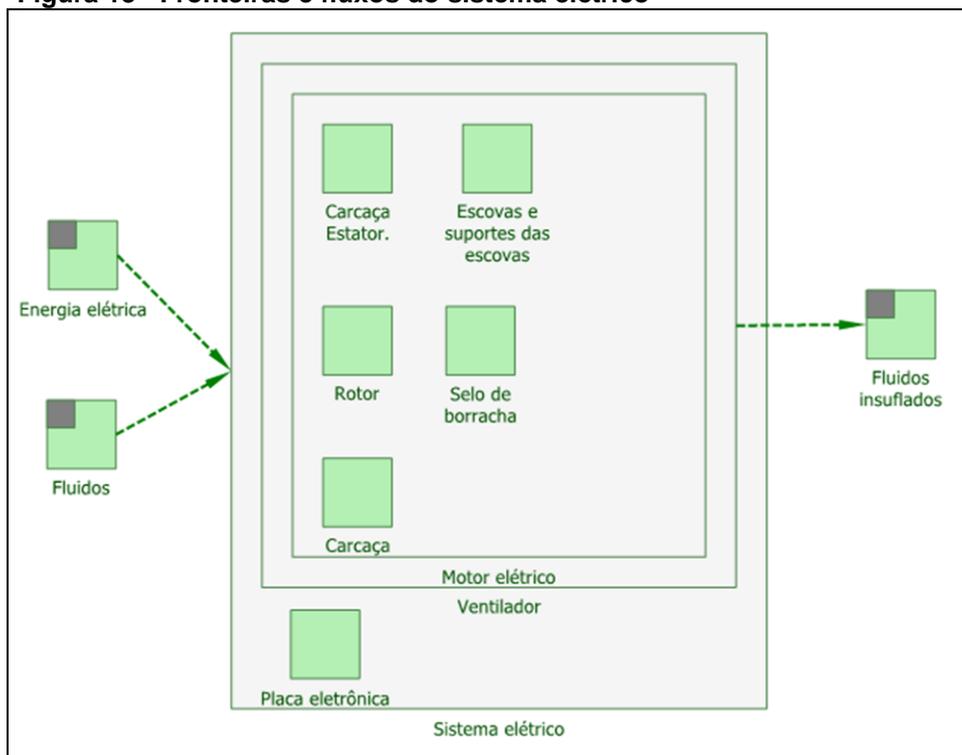
Para um melhor entendimento, foi elaborado o diagrama organizacional dos componentes do sistema elétrico (Figura 12) e o um esquema das fronteiras e fluxos do sistema elétrico apresentado na figura 13.

Figura 12 - Diagrama Organizacional dos componentes do sistema elétrico



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - Fronteiras e fluxos do sistema elétrico



Fonte: Autoria própria.

6.1.4 Sistema estrutural

Construído com um material polímero rígido e de alta resistência em sua maior extensão para inibir a corrosão, contém uma grelha de distribuição de ar com aletas móveis construídas em alumínio, a estrutura é fixada por rebites, e parafusos.

Através da Figura 14 é possível visualizar a estrutura. Para um melhor entendimento, foi elaborado o diagrama organizacional dos componentes do sistema estrutural (Figura 18) e o um esquema das fronteiras e fluxos do sistema estrutural apresentado na figura 19.

Figura 14 - Estrutura do equipamento.



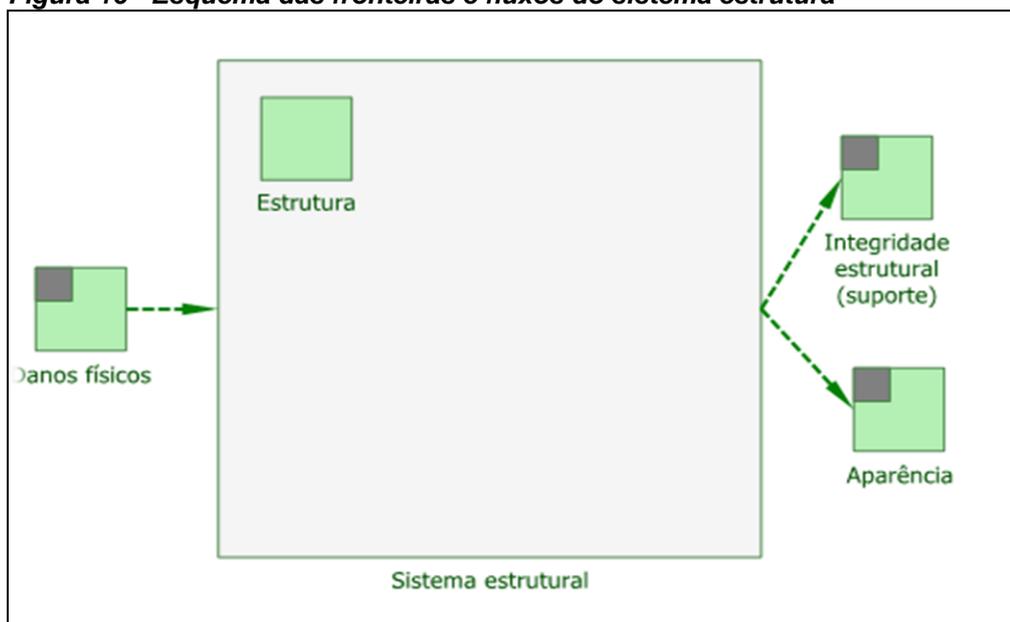
Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Diagrama Organizacional dos componentes do sistema estrutural



Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Esquema das fronteiras e fluxos do sistema estrutural



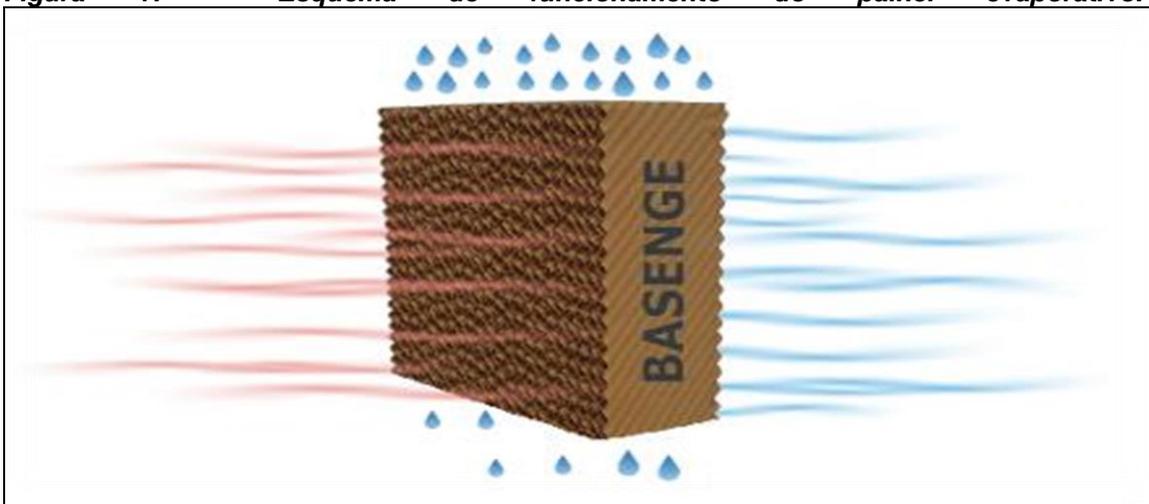
Fonte: Autoria própria.

6.1.5 Sistema Evaporativo

No resfriamento evaporativo de ar, o ar cede energia (calor) para que a água evapore, resultando numa corrente de ar mais fria à saída do resfriador, a Figura 20 apresenta o esquema de funcionamento do painel evaporativo.

Tal processo no resfriador evaporativo ocorre quando a água após ser bombeada até o distribuidor é despejada em uma colmeia

Figura 17 - Esquema de funcionamento do painel evaporativo.



Fonte: *Cafálogo Basenge*.²

O painel evaporativo é composto por camadas de papel kraft ondulado e poroso, impregnado com uma resina que lhe confere grande rigidez e durabilidade. Coladas, as camadas formam colméias de área superficial muito grande, que oferecem baixa resistência ao fluxo de ar.

Para um melhor entendimento, foi elaborado o diagrama organizacional dos componentes do sistema evaporativo (Figura 21) e o um esquema das fronteiras e fluxos do sistema evaporativo apresentado na figura 22.

² Disponível em: <<http://www.basenge.com.br/resfriamento-evaporativo>>. p. 23. Acesso em 20/09/2016.

Figura 18 - Diagrama Organizacional dos componentes do sistema evaporativo



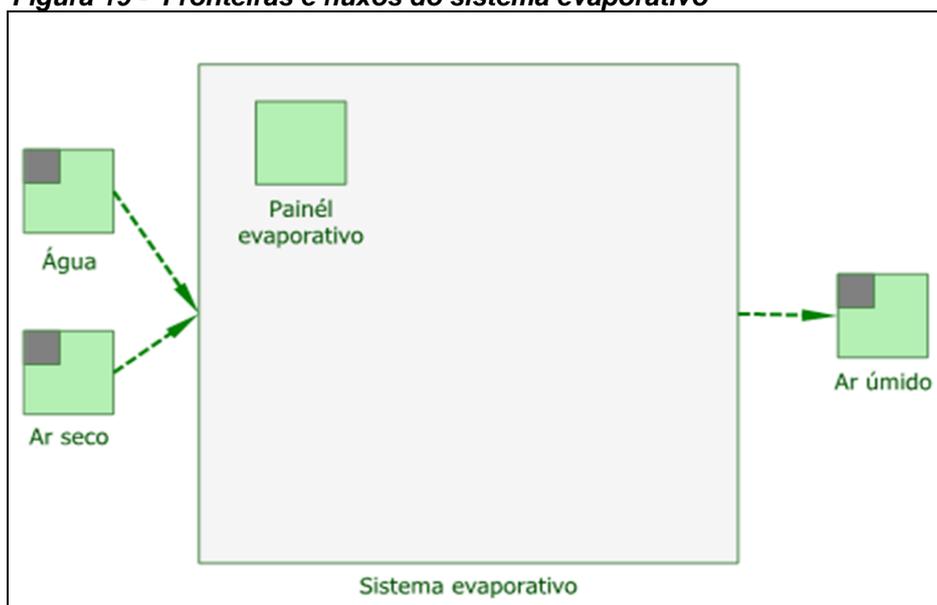
Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 - Funções e falhas funcionais.

Sistema, Subsistema ou componente	Funções	Falhas funcionais
Ventilador	1	2
Motor elétrico e componentes	9	10
Placa eletrônica de controle	1	2
Sistema hidráulico e componentes	6	8
Sistema evaporativo	1	3
Sistema estrutural	2	2

Fonte: Autoria própria.

Figura 19 - Fronteiras e fluxos do sistema evaporativo



Fonte: Autoria própria.

Após selecionados o sistema e os subsistemas objetos do estudo e definidas as suas fronteiras, energias e fluxos, o próximo passo foi a identificação das funções, primárias e secundárias, exercidas por seus componentes, assim como das falhas funcionais, que devem ser evitadas com meio da manutenção.

6.2 ANÁLISE DE MODOS DE FALHA E EFEITOS

Em posse das funções e as falhas funcionais conhecidas, iniciou-se a identificação dos modos de falha prováveis de ocorrer ou que já ocorreram, bem como dos efeitos ocasionados. Para isso foram utilizadas as documentações fornecidas pelos fabricantes dos componentes, pela bibliografia, assim como testes e os relatos da equipe de manutenção.

Esse procedimento conhecido como FMECA é largamente utilizado pela indústria que agrega conhecimento e confiabilidade ao produto.

Dependendo da análise o equipamento pode apresentar milhares de modos de falha, seus sistemas e subsistemas centenas e um componente dezenas. Como a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis é diretamente proporcional a quantidade de modos de falha, o nível de profundidade da análise deve ser realizado com cautela.

De acordo com Siqueira, 2009, o efeito de um modo de falha pode medir-se por uma avaliação de risco. Onde o nível do risco é proporcional à frequência com que os eventos ocorrem, ponderada pela severidade dos danos produzidos por cada evento. Para melhor confiabilidade é acrescentada na análise uma ponderação adicional do risco em função da dificuldade em sua detecção, ou seja:

$$\text{Risco} = \text{Severidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detecibilidade}$$

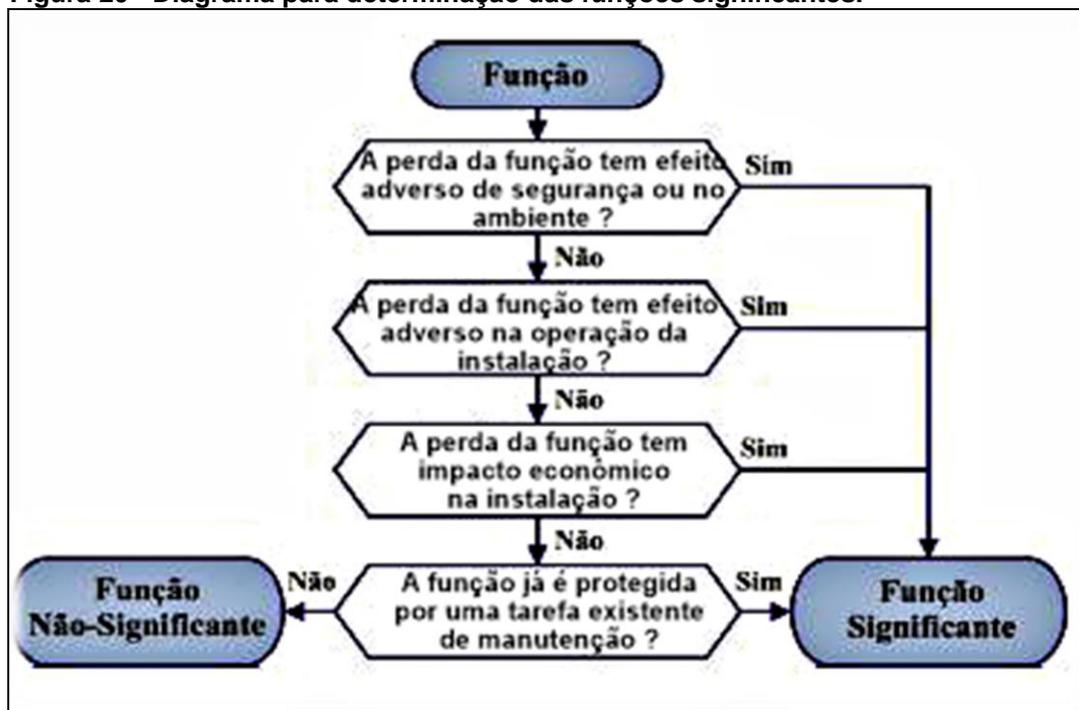
Onde os valores utilizados para severidade, ocorrência e detecção são mostrados, respectivamente nas tabelas anexo 1.

A matriz FMEA pode ser visualizadas no apêndice 1.

6.3 SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES

Para cada função identificada na FMECA é utilizado um processo estruturado para determinar se a falha funcional tem efeito significativo, e caso afirmativo, classificar seus modos de falha levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo.

Figura 20 - Diagrama para determinação das funções significantes.



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p. 112

Funções são significantes se oferecem algum impacto a: segurança, meio ambiente, operação, economia ou estiver associada a tarefa de manutenção existente. Tais funções são aquelas que serão submetidas às etapas seguintes do processo decisório da MCC.

Para classificação dos modos de falha das funções significantes é utilizada a seguinte lógica de decisão apresentada no diagrama 2:

Figura 21 - Lógica de decisão para classificação dos modos de falha das funções significantes.



Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.171

Onde:

- ESA – Evidente com impacto na Segurança e/ou Ambiental;
- EEO – Evidente com impacto Econômico e/ ou Operacional;
- OSA – Oculto com impacto na Segurança e/ou Ambiental;
- OEO – Oculto com impacto Econômico e/ou Operacional.

O formulário de Árvore de Decisão no qual, foi documentada a aplicação da lógica se encontra no apêndice 3.

Através do NPR (Número de Prioridade de Risco) calculado na etapa anterior, é comparado a criticidade dos diferentes modos de falha e assim priorizar as ações corretivas para os casos mais críticos.

Combinados os níveis de frequência dos modos de falha, com os níveis de severidade e de aceitabilidade já definidos no anexo 1 é foi possível elaborar a matriz de riscos apresentada na Figura 25.

Figura 22 - Matriz de Riscos

Probabilidade	Consequências				
	Insignificante	Menor	Moderado	Maior	Catastrófico
	1	2	3	4	5
A (Quase certo)	1	0	0	0	0
B (Provável)	2	5	3	4	0
C (Possível)	2	1	6	0	2
D (Improvável)	2	3	2	3	0
E (Raro)		0	3	0	0

Fonte: Autoria própria.

Os modos de falha foram classificados em desprezíveis (risco < 32), indesejáveis (32 < risco < 100) e intoleráveis (risco > 100). As quantidades de modos de falha encontrados classificadas por risco podem ser vistos com mais detalhes nas planilhas FMEA do apêndice 1.

Dos 38 modos de falha analisados, 21 se apresentaram como indesejáveis ou intoleráveis

6.4 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS E EFETIVAS

Após do entendimento e classificação dos modos de falha e funções, iniciou-se o processo de seleção das tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas solucionando as etapas 4, 5 e 6 que tem por objetivo determinar quais tarefas de manutenção são aplicáveis e efetivas para cada uma das funções significantes identificadas e caracterizadas anteriormente.

Para análise, foi utilizada uma lógica de decisão MCC para cada classificação de falha, representadas nas Figuras 26, 27, 28 e 29.

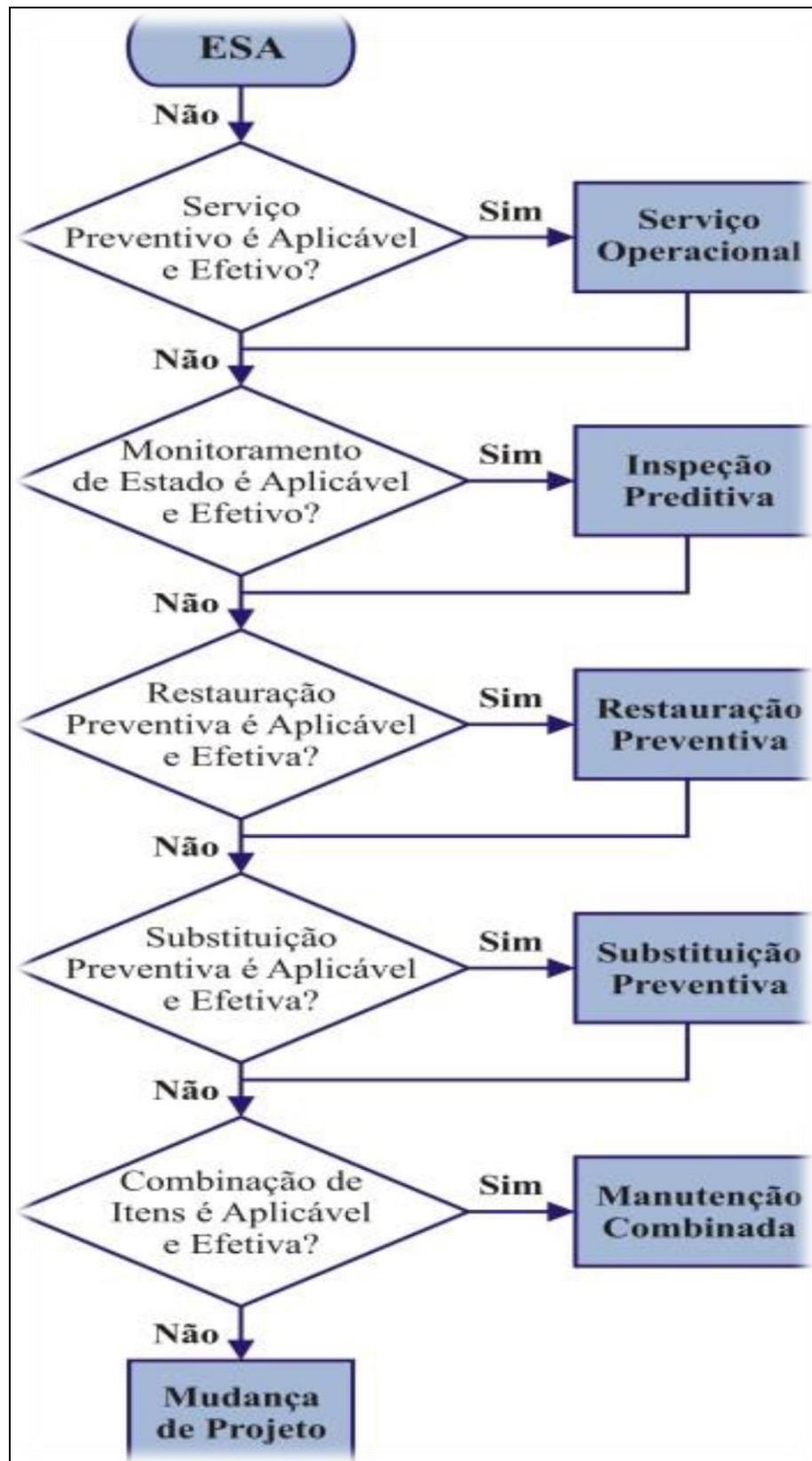


Figura 23 - Lógica de Decisão MCC para Falha Evidente de Segurança ou Ambiental.

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.173

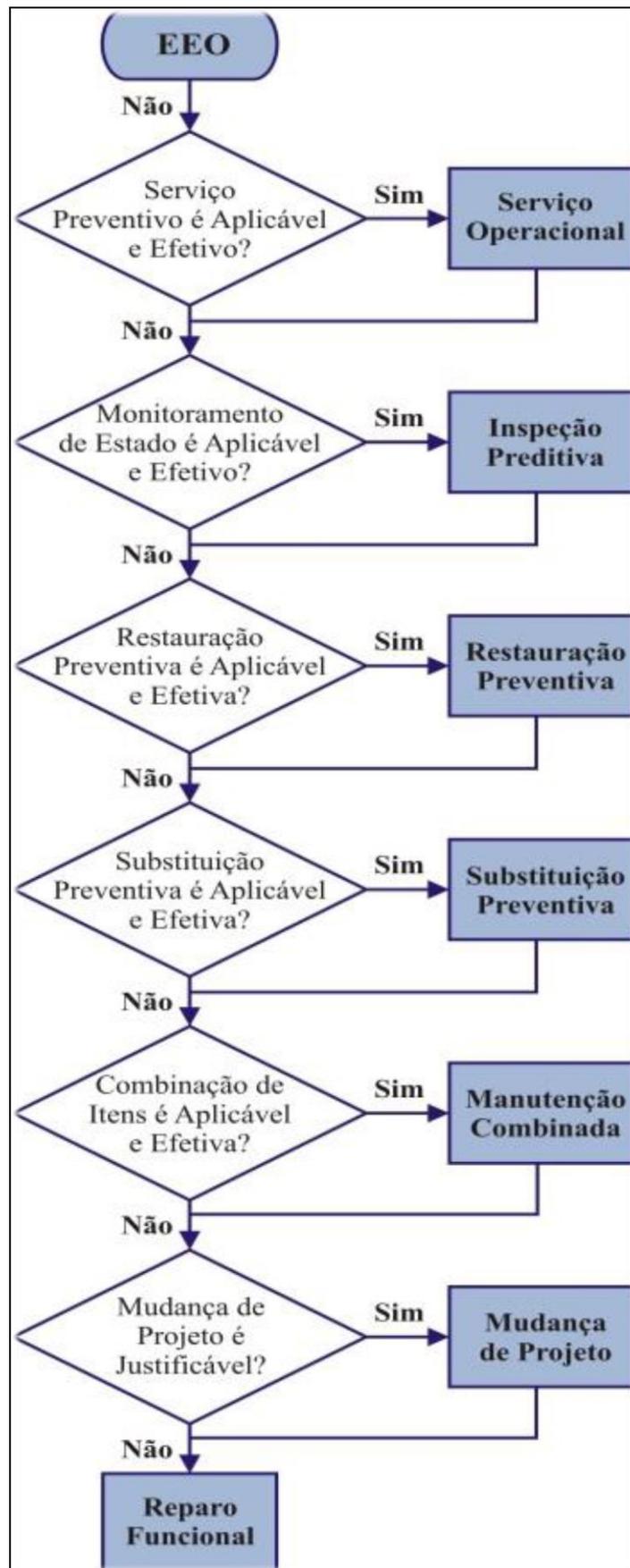


Figura 24 - Lógica de Decisão MCC para Falha Evidente de Economia ou Operação.

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.177

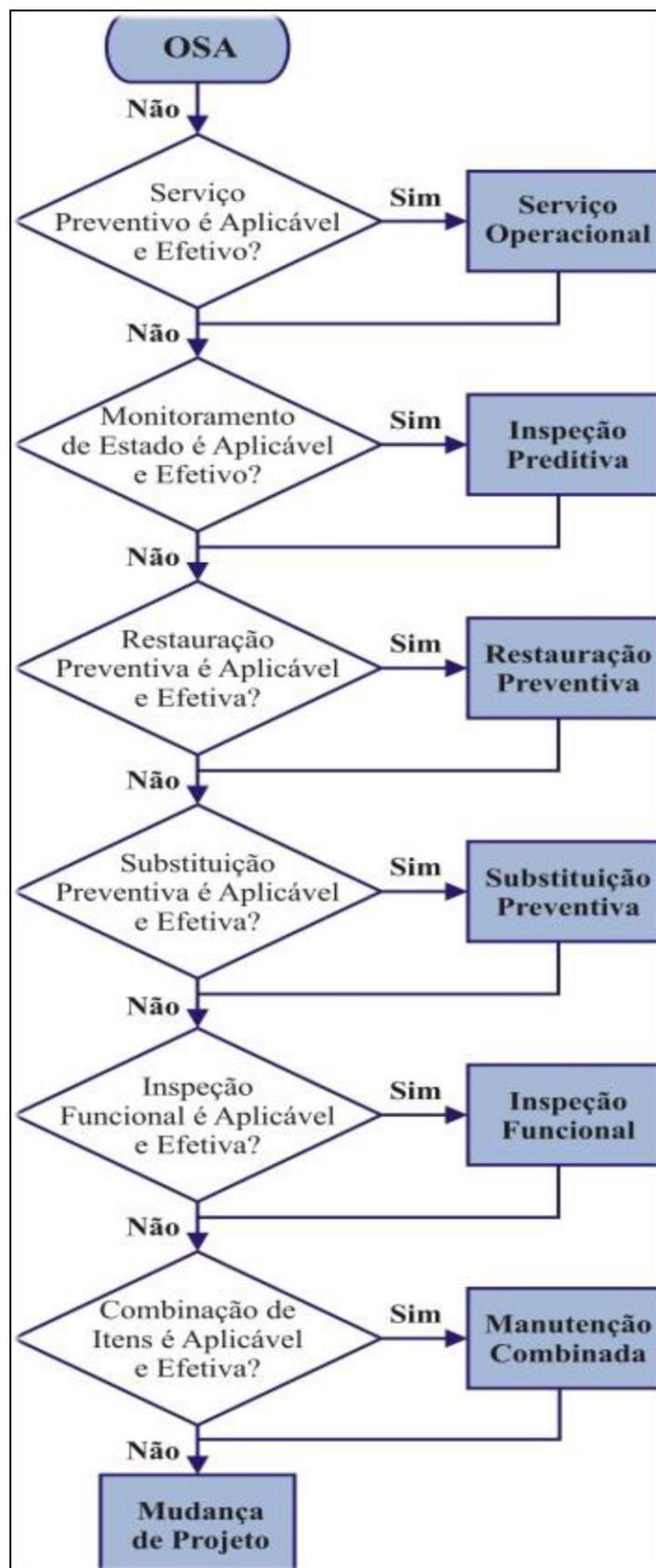


Figura 25 - Lógica de Decisão MCC para Falha Oculta de Segurança ou Ambiental

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.175

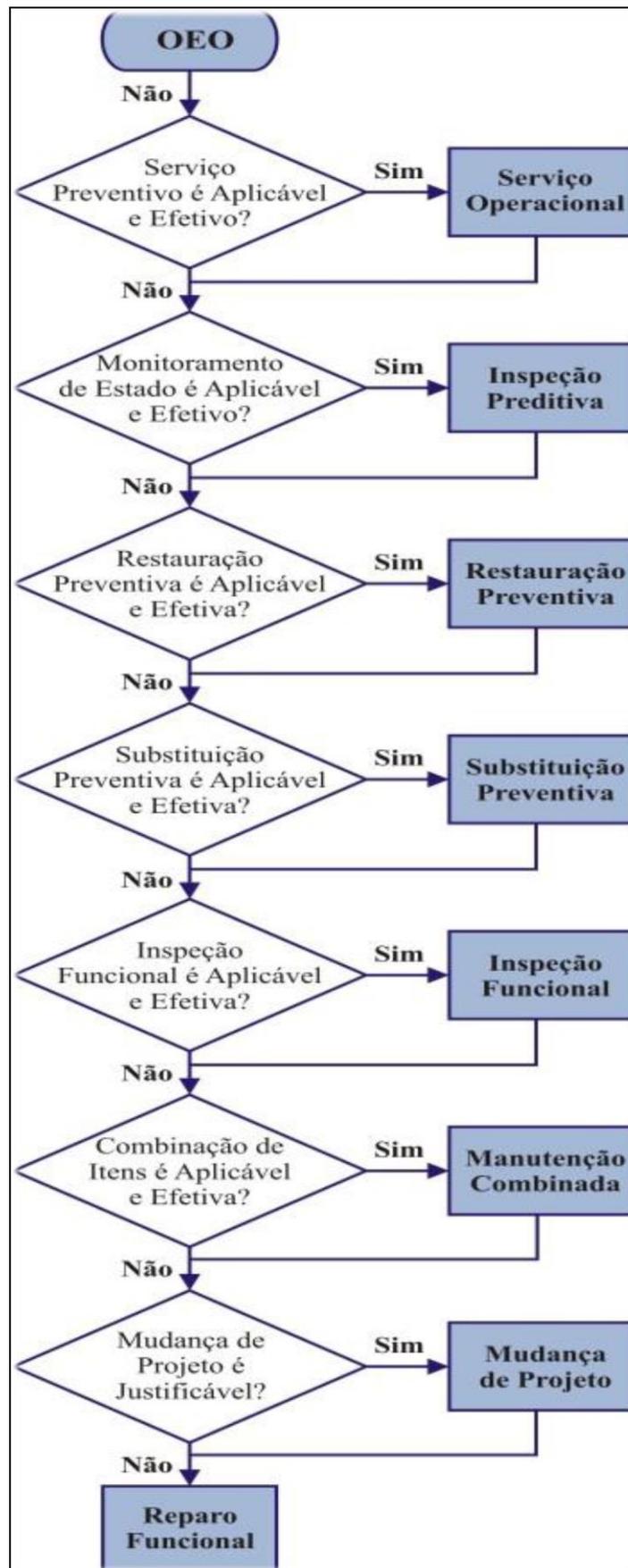


Figura 26 - Lógica de Decisão MCC para Falha Oculta de Economia ou Operação.

Fonte: Adaptado de Siqueira, 2005, p.179

Para que seja efetiva, a tarefa de manutenção deve atender simultaneamente os seguintes critérios: ser aplicável tecnicamente, ser viável com os recursos disponíveis, produzir os resultados esperados, ser executável a um intervalo razoável ou ainda, diminuir a probabilidade de falha com impacto sobre a segurança.

Para o estudo foi gerado um formulário de análise de decisão que se encontra no apêndice 4.

6.5 ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

Realizada a etapa anterior, o próximo passo foi a definição da frequência com que as tarefas serão exercidas de forma a otimizar as ações da equipe de manutenção.

Como existem poucos dados disponíveis, os métodos estatísticos não foram utilizados para definição da periodicidade das tarefas. A única opção é determiná-las através de conhecimento heurístico, opinião de especialistas, dados e recomendações do fabricante e estudo de sistemas similares, foi elaborado o estudo da periodicidade, afim de prolongar a vida útil e a disponibilidade do equipamento. Conforme Smith (1993) e a MIL-STD-2173 (1986), tal recurso é utilizado em fases iniciais de implementação da MCC.

A técnica de coleta de informações é estritamente empírica e consiste na estimação da periodicidade das tarefas de manutenção baseada no conhecimento que os especialistas possuem do sistema. Inicialmente, é estimado um certo período de falha para o item físico. Após esse período, é realizada a primeira revisão do equipamento em que se inspeciona as suas partes sujeitas à degradação e ao desgaste. Se a inspeção não revelar nenhum sinal de degradação e desgaste, o equipamento é remontado e aumenta-se o intervalo em 10%. O processo é repetido continuamente até que em uma das revisões encontra-se um sinal de degradação ou desgaste. Nesse ponto, para-se o processo, regride-se 10%, e define-se esse como o momento final para a realização da tarefa de manutenção (SMITH, 1993).

Para auxílio na estimação do período de falha para os itens o Engenheiro Mecânico Industrial, Especialista em aparelhos de climatização, Olívio Carlos Perin, proprietário da empresa Ventilon (C.N.P.J:

81208746000197), licenciada e especializada na elaboração de Planos de Manutenção Operação e Controle (PMOC) de aparelhos para climatização, detentor da carteira CREA: SP-143706/D, forneceu a opinião como especialista para o trabalho. A empresa Ventilon foi contratada pela UTFPR-CP a fim de realizar o serviço de vistoria nos equipamentos de climatização, então Carlos e o autor do presente trabalho na condição de estagiário da instituição, realizaram a inspeção técnica de todos os climatizadores evaporativos presentes na universidade, resultando em um profundo entendimento da real condição dos aparelhos no local.

Todo o estudo foi documentado na Tabela 2, Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), plano estabelecido pela Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998 e a Resolução nº 09 da Anvisa de 16 de janeiro de 2003.

Tabela 2 - Plano de manutenção proposto através da MCC

Descrição dos serviços.	Frequência.
Verificar e eliminar sujeira, danos e corrosão no gabinete e no reservatório.	Mensalmente.
Verificar a operação de drenagem do reservatório.	Mensalmente.
Verificar o estado do isolamento termo acústico (Se não contem bolor);	Mensalmente.
Verificar a vedação dos painéis de fechamento do gabinete.	Mensalmente.
Lavar o distribuidor, sem uso de desengraxantes e corrosivos.	Semestralmente.
Limpar o gabinete da colméia.	Mensalmente.
Verificar e eliminar as frestas do painel evaporativo (colméia).	Mensalmente.
Limpar o painel evaporativo (colméia).	Mensalmente.
Limpar o gabinete interno.	Mensalmente.
Medir e registrar o isolamento elétrico.	Semestralmente.

Fonte: Autoria própria.

7 CONCLUSÕES

A alta exigência do consumidor para que o mercado produza com qualidade, flexibilidade e confiabilidade têm influenciado as ações de dirigentes para o aperfeiçoamento de sua política de manutenção. Dessa forma, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) se mostra muito significativa para uma a determinação das tarefas que compõem o plano de manutenção, garantindo um melhor aproveitamento do equipamento.

Com a realização do presente trabalho, percebeu-se que a aplicação da metodologia da MCC permite um grande aprendizado a respeito da manutenção, dos ativos estudados e da realidade do local onde a metodologia é submetida.

Por se tratar estudo direcionado ao nível do modo de falha, utilizando o FMEA e análises de criticidade do equipamento foi possível identificar quais subsistemas e componentes são realmente importantes para o desempenho da função global do equipamento, através dos riscos e de seus efeitos.

Para garantir o funcionamento do equipamento, combatendo os modos de falha, através da MCC foram selecionadas tarefas aplicáveis e efetivas, através do diagrama lógico de decisão de tarefas e com base nas consequências das falhas. Todo processo resultou, do ponto de vista prático, no produto final da metodologia: o plano de manutenção para o equipamento.

Cabe comentar que essa documentação estará disponível para as futuras revisões dos procedimentos e tarefas de manutenção, ao permitir identificar, com eficiência, a ocorrência de uma eventual falha, e se aquela situação já tinha sido prevista.

Como recomendação para futuros trabalhos a serem desenvolvidos, sugere-se:

- a) Aplicação de métodos estatísticos para determinação das atividades efetivas após disposição de um histórico de manutenções realizadas;
- b) Utilização do método de análise da 'árvore de falhas', como ferramenta de suporte para a definição das falhas funcionais dos componentes, a serem definidas para a aplicação da MCC;
- c) Desenvolvimento da análise de custos da manutenção do climatizador.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462:** confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994

BASENGE. **Resfriamento Evaporativo**. Disponível em: <<http://www.basenge.com.br/resfriamento-evaporativo>>. Acesso em 20/09/2016.

CAROSI, G. A. B. **Resfriamento Evaporativo: Estudo do Potencial de sua Aplicação no Brasil**. 100f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005

ECOBRIISA, Climatizadores. **Modelos de equipamentos**. Disponível em: <<http://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/ecobrisa/modelos.pdf>>. Acesso em: 14/05/2016.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001. 388 p.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Aladon Ltd. Lutterworth, 1997

NASCIF, J. **Manutenção de Classe Mundial**. Revista Manutenção e Qualidade, 2000. n.29, 8p.

RELIASOFT. **What is Failure Mode and Effect Analysis**, 1992. Disponível em: <<http://www.weibull.com/basics/fmea.htm>> Acesso em 10/06/2016.

SEIXAS, Eduardo de Santana. **Confiabilidade Aplicada na Manutenção**, Rio de Janeiro, 2002

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: Manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005. 408 p.

SMITH, ANTHONY M. **Reliability – Centered Maintenance**. Mecgraw Hill, 1993

SOUZA, Strauss Sydio de; LIMA, Carlos Roberto Camello. **Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica**. Ouro Preto. 2003. 8p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_te0109_1253.pdf> Acesso em: 10/05/2016.

US-MIL-STD-2173 **.Reliability Centered Maintenance.** Department of Defense, Washington DC, 1986

APÊNDICE 1

ANÁLISE DOS EFEITOS DOS MODOS DE FALHA (FMEA) para o Climatizador Evaporativo EB80.

Função	Falha	Modo de falha	Efeitos	Si	Causas da falha	Oi	Di
Climatizador Evaporativo EB80							
Sistema elétrico							
Ventilador							
Insuflar ar no ambiente.	Ventilador não liga.	Falta de energia ou fase/Inversor com defeito.	Falta de insuflamento de ar.	8	Instalação incorreta / sobrecarga.	3	2
	Ventilador funciona em velocidade lenta.	Obstrução em algum local da hélice.	Insuflamento de ar abaixo da função requerida.	7	Painéis evaporativos com aberturas.	3	4
					Estrutura danificada.	3	2
Motor elétrico							
Carcaça Estator							
Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem.	Sem sustentação.	Perda dos pontos de apoio.	Descontinuidade das partes.	6	Vibração excessiva.	4	1
Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético.	Curto-circuito do sistema.	Bobina curto-circuitada.	Queima do motor.	7	Sobreaquecimento de isolamentos.	2	1
Escovas e suportes das escovas							
Conduzir corrente para o comutador.	Ventilador não liga.	Danos ao suporte das escovas do estator.	Motor inoperante.	8	Danos devido ao sobre aquecimento quando o motor é travado.	3	2
	Ventilador não liga.	Desconexão de corrente devido a desgaste nas escovas.	Motor inoperante.	10	Desgaste da escova. Desconexão da escova ou falha no suprimento de energia.	2	3
Rotor							
Controle do campo magnético.	Ventilador não liga.	Bobina curto-circuitada.	Queima do motor.	7	Sobreaquecimento do isolamento dos enrolamentos.	2	1
Previne folgas e ruídos.	Ventilador não liga.	Corrosão.	Ruído.	5	Resistência a corrosão insuficiente.	2	1
Selo de borracha							
Promover isolamento nas áreas de conexão.	Falta de isolamento nas áreas de conexão.	Deformação do material.	Perda da função de isolamento.	6	Resistência do material a temperatura insuficiente.	2	1

Promover o isolamento entre a carcaça e o estator.	Falta de isolamento entre a carcaça e o estator.	Infiltração de água dentro do motor.	Operação intermitente e ruído.	6	Pressão de aperto dos elementos de fixação insuficiente.	1	3
Carcaça Estator							
Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem.	Sem sustentação.	Perda dos pontos de apoio.	Descontinuidade das partes.	6	Vibração excessiva.	4	1
Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético.	Curto-circuito do sistema.	Bobina curto-circuitada.	Queima do motor.	7	Sobreaquecimento de isolamentos.	2	1
Placa eletrônica de controle							
Controle do sistema.	Sobre temperatura no inversor de frequência.	Fusível acionado.	Parada do sistema ocasionando a falta de refrigeração do local.	9	Entrada e saída de ar do comando elétrico obstruída por impurezas.	1	4
					Temperatura do local de instalação da placa eletrônica acima de 40° C.	1	2
	Ruído elétrico.	Display do Inversor de Frequência: apagado.	Integridade do sistema elétrico.	9	Falta de aterramento na rede de alimentação elétrica.	1	2
Sistema hidráulico							
Bomba de recirculação de água							
Transmitir energia ao fluido para que se desloque ao distribuidor de água.	Travamento da bomba.	Bomba não funciona.	Água não chega ao distribuidor, função requerida é prejudicada.	7	Instalação elétrica da bomba está incorreta.	4	1
	Vazamento.	Vazamento próximo ao eixo.	Menor eficiência, desgaste do equipamento.	4	Selo mecânico pode estar desgastado.	3	3
	Bomba de água funciona mas não circula ou os painéis evaporativos estão secos.	Sem circulação de água.	Menor eficiência, desgaste do equipamento.	6	Filtro da bomba obstruído.	2	3
					Encanamento de alimentação de água obstruído.	3	4
Distribuidor de água interno obstruído.				3	4	4	
Distribuidor de água							
Distribuir água para o painel evaporativo.	Não distribui água para o painel evaporativo.	Ambiente não é resfriado.	Sobrecarga na bomba, painel evaporativo trabalha a seco perdendo sua função requerida.	8	Obstrução dos furos do distribuidor.	2	4
Boia							

Regular nível de água.	Não regula o nível de água.	Saída de água pelo dreno.	Válvula de entrada abre; Reservatório pode operar com carga elevada resultando em perdas e consumo excessivo.	4	Furo ou má vedação.	3	2
Reservatório							
Acumular água.	Não acumula água.	Rachadura (Colapso).	Perda de água, bomba trabalhando a seco, perda da bomba e da função requerida.	9	Dano físico.	1	1
Conter a água.	Não contém água.	Boia de alimentação não funciona.	Vazamento constante de água pela saída do dreno ou ladrão.	4	A Boia de alimentação pode ter girado no ato da instalação.	2	2
Tubulação							
Distribuir o fluido pelo sistema.	Não transmite água ou transmite de forma parcial.	Ambiente não é resfriado.	Vazamento.	4	Falta de vedante.	2	3
					Aplicação de vedante incorreto.	2	3
Sistema evaporativo							
Painél evaporativo							
Reter fluido, ocasionando evaporação.	Obstrução no painél evaporativo.	Não resfia o ambiente.	Ar não é insuflado corretamente.	8	Mal posicionamento do painél evaporativo.	3	4
	Equipamento funciona, porém não resfia o ambiente.	Não resfia o ambiente.	Ambiente não resfia.	7	Problema com o funcionamento da bomba de água.	2	6
					Umidade relativa alta no ambiente.	3	4
					Painéis evaporativos estão secos ou há falta de água enquanto o equipamento funciona.	2	4
					Exaustão para o retorno de ar inadequada / insuficiente.	3	5
					Saídas insuficientes de ar na grelha de distribuição ou aletas mau direcionadas.	2	4
	Fluído insuficiente.	3	4				
Equipamento libera odores estranhos.	Odor desagradável.	Ambiente recebe odor desagradável.	4	A captação de ar está próxima a uma fonte de odor desagradável.	4	3	

					Algas acumuladas no reservatório.	4	3
Sistema estrutural							
Estrutura							
Proteção do equipamento.	Falta de proteção para o sistema.	Ruptura na estrutura.	Dano aos componentes internos do sistema.	8	Dano físico a estrutura.	2	2
Sustentação do equipamento.	Não sustenta o equipamento.	Estrutura danificada.	Queda do equipamento, perda da função principal.	10	Altas tensões e sobre carga.	2	1

ANEXO 1

Critérios de Avaliações e Classificações (Adaptado de Relia Soft).

Escala do Grau da Severidade – Folha 1 de 1		
1	Sem efeito	Nenhum efeito discernível.
2	Aborrecimento	Aspecto ou Ruído Audíveis, veículo operável, item não conforme e notado pelos clientes distintos (<25%).
3	Aborrecimento	Aspecto ou Ruído Audíveis, veículo operável, item não conforme e notado por muitos usuários (<50%).
4	Aborrecimento	Aspecto ou Ruído Audíveis, veículo operável, item não conforme e notado por muitos usuários (>75%).
5	Degradação da Função Secundária	Degradação de função secundária (veículo operável, mas funções de conforto/conveniência em nível reduzido de desempenho).
6	Perda da Função Secundária	Perda de função secundária (veículo operável, mas funções de conforto/conveniência inoperantes).
7	Degradação da Função Primária	Degradação de função primária (veículo operável, mas em nível reduzido de desempenho).
8	Perda da Função primária	Perda de função primária (veículo inoperável, não afeta operação segura do veículo).
9	Falha para Encontrar Segurança/ou Regulamentos	O modo de falha potencial afeta operação segura do veículo e/ou envolve descumprimento de normas de agências reguladoras do governo (possível advertência).
10	Falha para Encontrar Segurança/ou Regulamentos	O modo de falha potencial afeta operação segura do veículo e/ou envolve descumprimento de normas de agências reguladoras do governo (sem advertência).

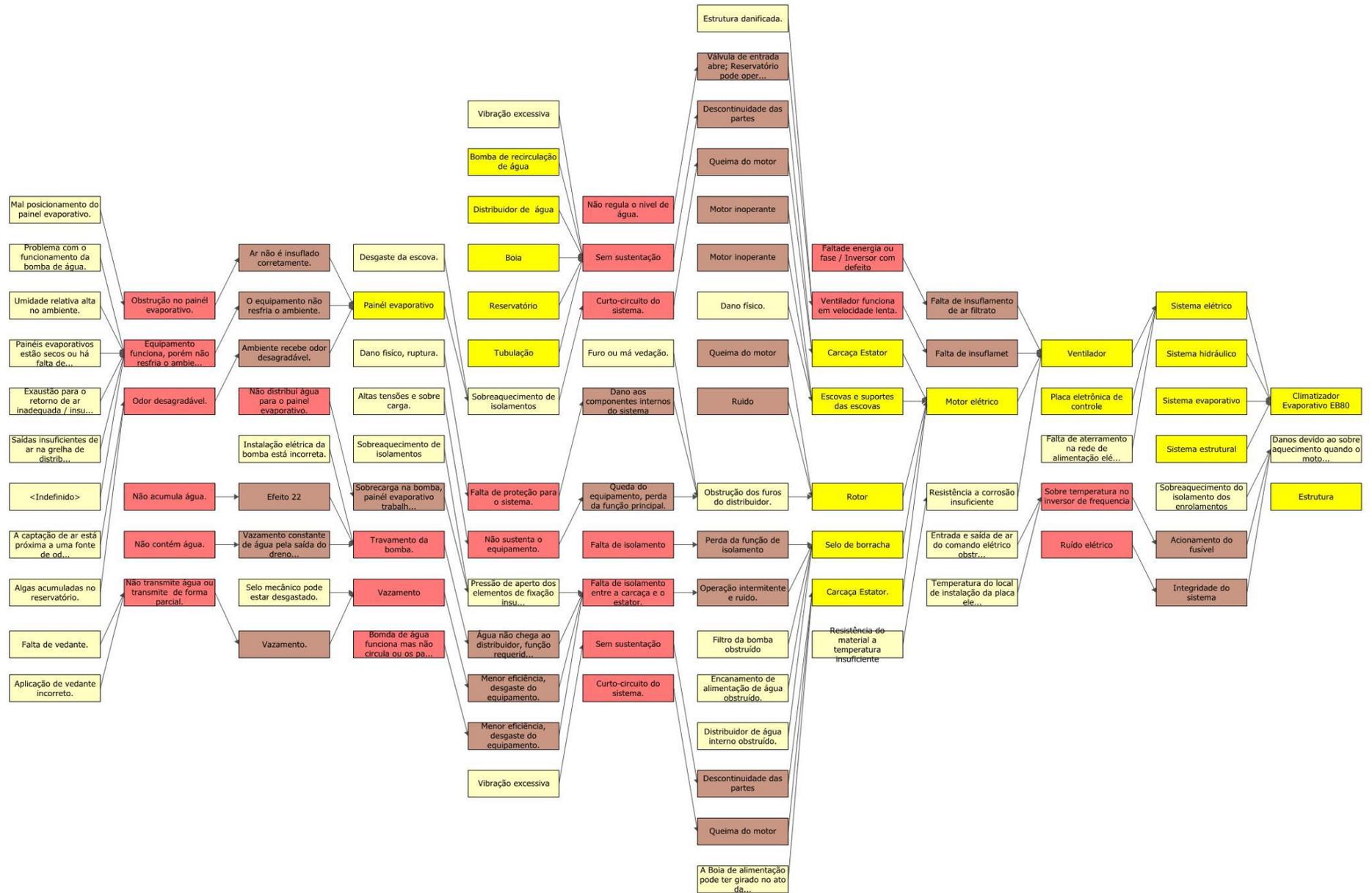
Escala do Grau da Ocorrência – Folha 1 de 1		
1	Muito Baixa	Falha é eliminada através de controles preventivos.
2	Baixa	Falhas associadas não observadas com projetos quase idênticos ou em simulação de projeto e testes.
3	Baixa	Somente falhas isoladas associadas com projeto quase idêntico ou em simulação de projeto e testes.
4	Moderado	Falhas isoladas associadas com projetos similares ou em simulação de projeto e testes.
5	Moderado	Falhas ocasionais associadas com projetos similares ou em simulação de projeto e testes.
6	Moderado	Falhas frequentes associadas com projetos similares ou em simulação de projeto e testes.
7	Alto	Falhas são incertas com novo projeto, nova aplicação, ou mudança no ciclo de carga/condições operacionais.
8	Alto	Falhas são prováveis com novos projetos, novas aplicações, ou mudanças no ciclo de carga/condições operacionais.
9	Alto	A falha é inevitável com novos projetos, novas aplicações, ou mudança no ciclo de carga/condições operacionais.
10	Muito Alto	Novas tecnologias/novos projetos com nenhum histórico.

Escala do Grau da Detecção – 1 de 2		
1	Quase Certo	A causa de falha ou modo de falha não podem ocorrer porque é completamente evitado através de soluções de melhoria de projeto (por exemplo, padrão de projeto testados, melhores práticas ou materiais comuns, etc.).
2	Muito Alto	Os controles de análise de projeto/detecção têm uma forte capacidade de detecção. Análise virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) está altamente correlacionada com as condições a priori reais ou esperadas de operação para o congelamento do projeto.
3	Alto	A validação de produto (teste de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) a prior do congelamento do projeto usando testes de degradação (por exemplo, tendências de dados, valores antes/depois, etc.).
4	Moderadamente Alta	A validação de produto (teste de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes do congelamento do projeto utilizando testes para falhar (por exemplo, tempo até vazamentos, desempenho, trincas, etc.).
5	Moderado	A validação de produto (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes do congelamento do projeto utilizando testes do tipo passa/não passa (falha) no teste (por exemplo, critérios de aceitação de desempenho, verificação das funções).

Escala do Grau da Detecção – 2 de 2		
6	Baixa	A verificação/validação do produto depois do congelamento do projeto e antes de desferir o teste de degradação (teste do subsistema ou sistema depois do teste de durabilidade, por exemplo, verificação das funções).
7	Muito Baixa	A verificação/validação do produto depois do congelamento do projeto e antes de desferir os testes de falha (testes do subsistemas ou sistemas até a ocorrência de falhas, testes de interações de sistema, etc.).
8	Remoto	A verificação/validação do produto depois de congelar o projeto e antes de desferir os testes do tipo passa/não passa (falha) (Testes do subsistema ou sistema com critérios de aceitação como deslocamento e manuseio, avaliação da expedição ou transporte, e
9	Muito Remoto	Os controles de análise/detecção do projeto têm uma capacidade de detecção muito fraca; Análise virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) não está correlacionada as condições reais de operação esperada.
10	Quase Impossível	Nenhum controle atual de projeto; Não pode detectar ou não é analisado.

APÊNDICE 2

Diagrama de Causa e Efeito para o Climatizador Evaporativo EB80.



APÊNDICE 3**Árvore de Decisão Preenchida.**

Árvore de Decisão – Folha 1 de 3						
Função	Falha	Modo de falha	Visível e Evidente	Segurança Ambiental	Econômico Operacional	Categoria
Climatizador Evaporativo EB80						
Sistema elétrico						
Ventilador						
Insuflar ar no ambiente.	Ventilador não liga.	Falta de energia ou fase/Inversor com defeito.	sim	não	sim.	EE0
	Ventilador funciona em velocidade lenta.	Obstrução em algum local da hélice.	sim	não.	sim.	EEO
Motor elétrico						
Carcaça Estator.						
Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem.	Sem sustentação.	Perda dos pontos de apoio.	não.	não.	não.	OEO
Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético.	Curto-circuito do sistema.	Bobina curto-circuitada.	não.	não.	sim.	OEO
Escovas e suportes das escovas						
Conduzir corrente para o comutador.	Ventilador não liga.	Danos ao suporte das escovas do estator	sim.	não.	sim.	EE0
	Ventilador não liga.	Desconexão de corrente devido a desgaste nas escovas.	sim.	não.	sim.	EE0
Rotor						
Controle do campo magnético.	Ventilador não liga.	Bobina curto-circuitada.	sim.	não.	sim.	EE0
Previne folgas e ruídos.	Ventilador não liga.	Corrosão.	sim.	não.	sim.	EEO
Selo de borracha						
Promover isolamento nas áreas de conexão.	Falta de isolamento nas áreas de conexão.	Deformação do material.	nao.	não.	sim.	OEO
Promover o isolamento entre a carcaça e o estator.	Falta de isolamento entre a carcaça e o estator.	Infiltração de água dentro do motor	nao.	não.	sim.	OEO
Carcaça Estator.						

Árvore de Decisão – Folha 2 de 3						
Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem.	Sem sustentação.	Perda dos pontos de apoio.	nao.	não.	sim.	OEO
Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético.	Curto-circuito do sistema.	Bobina curto-circuitada.	sim.	não.	sim.	EEO
Placa eletrônica de controle.						
Controle do sistema.	Sobre temperatura no inversor de frequência.	Fusível acionado.	sim.	não.	sim.	EEO
	Ruído elétrico.	Display do Inversor de Frequência: apagado.	sim.	não.	não.	EEO
Sistema hidráulico						
Bomba de recirculação de água						
Transmitir energia ao fluido para que se desloque ao distribuidor de água.	Travamento da bomba.	Bomba não funciona.	nao.	não.	sim.	OEO
	Vazamento.	Vazamento próximo ao eixo.	nao.	sim.	sim.	OSA
	Bomba de água funciona mas não circula ou os painéis evaporativos estão secos.	Sem circulação de água.	nao.	não.	sim.	OEO
Distribuidor de água						
Distribuir água para o painel evaporativo.	Não distribui água para o painel evaporativo.	Ambiente não é resfriado.	sim.	não.	sim.	EEO
Boia						
Regular nível de água	Não regula o nível de água.	Saída de água pelo dreno.	não.	sim.	sim.	OSA
Reservatório						
Acumular água.	Não acumula água.	Rachadura (Colapso).	sim.	não.	sim.	EEO
Conter a água.	Não contém água.	Boia de alimentação não funciona.	não.	não.	sim.	OEO
Tubulação						
Encanar fluido.	Não transmite água ou transmite de forma parcial.	Ambiente não é resfriado.	sim.	não.	sim.	EEO
					sim.	EEO
Sistema evaporative.						

Árvore de Decisão – Folha 3 de 3						
Painél evaporativo.						
Reter fluido, ocasionando evaporação.	Obstrução no painél evaporativo.	Não resfria o ambiente.	não.	não.	sim.	OEO
	Equipamento funciona, porém não resfria o ambiente.	Não resfria o ambiente.	nao.	não.	sim.	OEO
	Equipamento libera odores estranhos.	Odor desagradável.	sim.	não.	sim.	EEO
Sistema estrutural.						
Estrutura.						
Proteção do equipamento.	Falta de proteção para o sistema.	Ruptura na estrutura.	sim.	não.	sim.	EEO
Sustentação do equipamento.	Não sustenta o equipamento.	Estrutura danificada.	sim.	não.	sim.	EEO

APÊNDICE 4

Formulário de Análise de Decisão MCC Preenchido

Formulário de Análise de Decisão – Folha 1 de 4.											
Função	Falha	Modo de falha	Consequência	Questões							Tarefa Proposta
Climatizador Evaporativo EB80.				1	2	3	4	5	6	7	
Sistema elétrico.											
Ventilador.											
Insuflar ar no ambiente.	Ventilador não liga.	Falta de energia ou fase/Inversor com defeito.	EE0	n	s	n	n	s	n	n	Inspeção Funcional.
	Ventilador funciona em velocidade lenta.	Obstrução em algum local da hélice.	EEO	n	s	n	n	s	n	n	Inspeção Funcional.
Motor elétrico.											
Carça Estator.											
Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem.	Sem sustentação.	Perda dos pontos de apoio.	OEO	n	s	n	n	n	n	n	Inspeção Visual.
Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético.	Curto-circuito do sistema.	Bobina curto-circuitada.	OEO	n	s	n	n	n	n	n	Inspeção Funcional.
Escovas e suportes das escovas.											
Conduzir corrente para o comutador.	Ventilador não liga.	Danos ao suporte das escovas do estator	EE0	n	s	n	n	n	n	n	Inspeção Funcional.
	Ventilador não liga.	Desconexão de corrente devido a desgaste nas escovas.	EE0	n	s	n	n	n	n	n	Inspeção Funcional.

Formulário de Análise de Decisão – Folha 4 de 4.

Reter fluido, ocasionando evaporação.	Obstrução no painel evaporativo.	Não resfria o ambiente.	OEO												Limpeza do Painél.
	Equipamento funciona, porém não resfria o ambiente.	Não resfria o ambiente.		s	s	n	n	s	n	n					
	Equipamento libera odores estranhos.	Odor desagradável.	OEO	s	s	n	s	s	n	n	Verificação do local.				
Sistema estrutural.															
Estrutura.															
Proteção do equipamento.	Falta de proteção para o sistema.	Ruptura na estrutura.	EEO	n	n	n	n	n	n	n	Reparo Funcional.				
Sustentação do equipamento.	Não sustenta o equipamento.	Estrutura danificada.	EEO	n	n	n	n	n	n	n	Reparo Funcional.				

