

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL MACHADO SERRA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM
EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

MARÍLIA
2014

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL MACHADO SERRA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM
EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA DO SETOR ALIMENTÍCIO**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Danilo Corrêa Silva

MARÍLIA
2014

Serra, Gabriel Machado

Manutenção Centrada na Confiabilidade em equipamentos de uma empresa do setor alimentício / Gabriel Machado Serra; orientador: Danilo Corrêa Silva. Marília, SP: [s.n.], 2014.

44 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2014.

1. Manutenção 2. Confiabilidade 3. Disponibilidade

CDD: 658.202



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

Gabriel Machado Serra - 44956-3

TÍTULO "Manutenção Centrada na Confiabilidade em equipamentos de uma empresa do setor alimentício "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R. para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 9,5

ORIENTADOR: 
Danilo Correa Silva

1º EXAMINADOR: 
Elton Aquino Yokomizo

2º EXAMINADOR: 
Bruno Marques dos Santos

Marília, 05 de dezembro de 2014.

Agradecimentos,

Agradeço primeiramente a Deus pelo esplendor da vida, e as oportunidades que me foram proporcionadas durante essa jornada.

Aos meus pais, que através de seus esforços contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, servindo como pilares para meu desenvolvimento.

A minha esposa e meu filho, que tiveram que conviver até mesmo presente com a minha ausência e compreender o verdadeiro sentido de tanto esforço e dedicação.

E todos aqueles que participaram de maneira direta e indireta da minha conquista.

SERRA, Gabriel Machado. **Manutenção centrada na confiabilidade em equipamentos de uma empresa do setor alimentício**. 2014. 44 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo, em geral, o estudo da aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade, com o intuito de diminuir o número de falhas em um soprador de ar em uma indústria. Para isso será analisado o histórico de falhas extraído do SAP (*Systems, Applications and Products in Data Processing*) a partir da abertura de ordens de serviço para manutenções corretivas, na safra 2013/2014, o estudo utilizara também a ferramenta FMEA para a análise de falhas potenciais e suas respectivas causas, onde a mesma auxilia na tomada de decisões com informações de ações recomendadas para diminuir o número de falhas do equipamento mantendo o mesmo em condições normais de operação por mais tempo. A utilização dos conceitos relacionados a Manutenção Centrada na Confiabilidade, é capaz de aumentar os índices de disponibilidade dos equipamentos de um parque fabril, fator que é decisivo no mercado competitivo atual, onde a busca pela otimização dos recursos é cada dia maior.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Disponibilidade.

SERRA, Gabriel Machado. **Manutenção centrada na confiabilidade em equipamentos de uma empresa do setor alimentício**. 2014. 44 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

ABSTRACT

The paper has the objective, at large, the study in Reliability Centered Maintenance applications concepts, in order to decrease the industry air blower failures number. In this regard, the failure records extracted from SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing) will be analyzed from submitted work orders for corrective maintenance, in the 2013/2014 harvest. The FMEA Tool will also be used in the study to examine possible failures and their respective causes, at the same, it supports decision-making with recommended actions information to decrease equipment failures number and to keep them in normal operational conditions for longer. The use of Reliability Centered Maintenance related concepts is able to increase the industrial park equipment availability indexes, which is a decisive factor on current competitive market, where the pursuit of resource optimization is getting bigger every day.

Keywords: Maintenance. Reliability. Availability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01- Sequência de implantação da MCC.....	20
Figura 02 – Classificação das falhas.....	24
Figura 03 – Formulário de preenchimento FMEA	25
Figura 04 – Soprador de ar para o processo de fermentação.....	28
Figura 05 – Histórico de falhas dos sopradores.....	29
Figura 06 - Critérios de decisão para ação recomendada.	36
Figura 07 – Histórico de falhas entre 01/08 a 31/10/2014.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Matriz de decisão.....	27
Tabela 02 – Principais sistemas do soprador.....	30
Tabela 03 - Funções dos componentes em análise.....	31
Tabela 04 – Falhas potenciais identificadas.	32
Tabela 05 – Efeitos das falhas.	33
Tabela 06 – Causas das falhas potenciais	34
Tabela 07 – Matriz de decisão - Severidade.....	35
Tabela 08 – Matriz de decisão - Ocorrência.....	35
Tabela 09 – Matriz de decisão - Detecção.....	35
Tabela 10 – Descrição do subgrupos, e suas respectivas falhas potenciais, ações recomendadas e ações tomadas.	37
Tabela 11 – Descrição do subgrupos, e suas respectivas falhas potenciais, ações recomendadas e ações tomadas.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCC: Manutenção Centrada na Confiabilidade

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis

DI: Disponibilidade Inerente

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTR: Mean Time To Repair

DT: Disponibilidade Técnica

MTBM: Mean time Between Maintenance

MTTRactive: Mean time to Repair Active

DO: Disponibilidade Operacional

MPT: Manutenção preventiva por tempo

MPC: Manutenção preventiva por condição

MC: Manutenção corretiva

MM: Manutenção por melhoria

SAP: Systems, Applications and Products in Data Processing

MES: Manufacturing Execution Systems

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	13
1.1 Delimitação do Tema.....	13
1.2 Objetivo	13
1.3 Objetivos Específicos	13
1.4 Justificativa.....	14
1.5 Metodologia.....	14
1.6 Estrutura do Trabalho	14
CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Manutenção Industrial	15
2.2 Engenharia de Manutenção	17
2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).....	19
2.3.1 Seleção do sistema e coleta de informações	20
2.3.2 Análise de Modos de Falhas e Efeitos.....	21
2.3.3 Seleção de Funções Significantes.....	21
2.3.4 Seleção de Atividades Aplicáveis.....	22
2.3.5 Avaliação da Efetividade das Atividades	22
2.3.6 Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas	22
2.3.7 Definição da Periodicidade das atividades	23
2.4 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)	23
2.4.1 Conceituação das Falhas.....	24
2.4.1 Etapas para aplicação do FMEA	25
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO.....	28
3.1 Identificação do problema	28
3.1 Definição da equipe para aplicação do FMEA	29
3.2 Divisão do equipamento e seus principais sistemas	30
3.3 Funções do sistema.....	30
3.4 Falhas potenciais	31

3.5 Efeitos de Falha Potencial	32
3.6 Causas da Falha em Potencial	33
3.7 Controles atuais	34
3.8 Matriz de decisão.....	34
3.9 Ação recomendada	36
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	37
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42
ANPÊNDICE A – FORMULÁRIO DE PREECHIMENTO FMEA	43

INTRODUÇÃO

Com um mercado cada vez mais competitivo, sistemas produtivos devem falhar cada vez menos, já que a busca por altos índices de produtividade a cada dia é mais presente no mundo industrial. A evolução da tecnologia chega cada vez mais rápido às organizações produtivas, através de técnicas e projetos cada dia mais modernos e complexos.

Porém, é necessária muita atenção por parte das equipes responsáveis, já que muitas vezes a busca desenfreada por altos índices de produtividade dos equipamentos pode comprometer todo sistema produtivo se os mesmos passarem a operar além de suas especificações técnicas.

Um fator de grande influência no interesse em manter sistemas produtivos operando em condições adequadas é a qualidade. A qualidade do que se produz é de extrema importância, já que a alta competitividade proporciona aos clientes várias opções. Isso traz a exigência de uma qualidade cada vez maior ao menor custo possível.

Além disso, há inúmeros outros fatores a ser considerados, incluindo os impactos ambientais causados pelas operações. Esses e outros fatores fazem com que a importância das técnicas utilizadas para a manutenção também aumente.

Essas técnicas também evoluíram e, cada vez mais, as equipes responsáveis pela sua utilização ganham mais espaço no mundo industrial. A manutenção tem atuação ampla, com a função de manter todo o sistema produzindo com a maior qualidade, segurança, pelo maior período de tempo possível.

Para que isso seja possível são utilizadas diversas técnicas. Porém, é necessária muita cautela na utilização das técnicas. Muitas vezes o custo de uma manutenção preventiva, por exemplo, é maior do que o de uma manutenção corretiva, mesmo considerando sua parada e seus prejuízos.

Para se definir a melhor técnica a ser aplicada, é necessário o levantamento de várias informações, como por exemplo, o custo da manutenção e o tempo de parada. Esses aspectos devem auxiliar na tomada de decisão com relação ao planejamento da manutenção.

Contudo, mesmo com um plano bem estabelecido de manutenção, muitas vezes não se tem segurança de que as medidas tomadas são suficientes. Para se aumentar a segurança de que as operações não serão interrompidas, pode ser utilizada uma técnica conhecida como Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

1.1 Delimitação do Tema

O setor de manutenção, como é conhecido nas organizações, tem funções que vão muito além de simplesmente consertar equipamentos. Quando uma manutenção é realizada, espera-se que a mesma seja capaz de manter o equipamento ou sistema funcionando até que a próxima manutenção preventiva seja realizada.

Em determinados campos de atuação, manter um sistema funcionando adequadamente é uma tarefa crítica. Na indústria alimentícia, por exemplo, a natureza perecível de muitos alimentos pode causar grandes prejuízos em caso de paradas não programadas.

No entanto, como garantir com que essa manutenção seja suficiente para manter o equipamento ou sistema produzindo até a próxima manutenção? A resposta para essa pergunta é a utilização de uma técnica conhecida como Manutenção Centrada na Confiabilidade. O foco desse trabalho é a aplicação da ferramenta de Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA) para aumento da confiabilidade em um soprador de ar KA-100, de uma indústria do setor alimentício do interior de São Paulo.

1.2 Objetivo

O objetivo desse trabalho é aumentar a disponibilidade de um equipamento industrial através da Manutenção Centrada na Confiabilidade. Para isso será realizada uma análise documental dos registros de manutenção desse equipamento e uma análise estatística dos dados obtidos, auxiliando a tomada de medidas que maximizem a utilização do equipamento.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Aplicar conceitos da metodologia da MCC em um equipamento;
- Identificar cenário através do histórico de falhas de safras anteriores;
- Propor ações para aumento da confiabilidade e disponibilidade do equipamento;

1.4 Justificativa

Na empresa analisada percebe-se uma defasagem no índice de disponibilidade desse equipamento, o que provoca também queda nos seus índices de produção. Com a realização desse estudo, pretende-se melhorar os indicadores de manutenção e conseqüentemente aumentar a produtividade da organização.

1.5 Metodologia

Esse estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa exploratória e bibliográfica, com vistas a desenvolver o tema abordado. A análise de uma situação real em uma empresa do setor alimentício também permite a sua caracterização como estudo de caso. O método de investigação será bibliográfico e documental, através da coleta de dados e análise quantitativa do histórico de quebra do equipamento em estudo em um determinado intervalo de tempo.

1.6 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 apresenta o tema proposto no intuito de posicionar o leitor, posteriormente serão apresentados os objetivos gerais e específicos além da justificativa.

O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura, a qual obedece a seguinte ordem: Manutenção Industrial, Manutenção corretiva não programada, Manutenção corretiva programada, Manutenção preditiva, Manutenção preventiva, Engenharia de Manutenção, Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade, Manutenção Centrada na Confiabilidade, Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (FMEA).

O Capítulo 3 relata o estudo de caso realizado em sopradores de ar de uma indústria do setor alimentício do interior de São Paulo, o estudo foi realizado no intuito de aumentar a disponibilidade do equipamento, através da utilização da metodologia da “Manutenção Centrada na Confiabilidade”.

O capítulo 4 contém os resultados da aplicação da metodologia da MCC, e por fim o capítulo 5 expõe as conclusões obtidas após o estudo.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA

2.1 Manutenção Industrial

A manutenção tem como uma de suas definições “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em seu estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994), ou seja, a mesma tem o objetivo de manter os equipamentos da planta operando em condições especificadas, por um maior tempo, qualidade e segurança possível. Para isso existem os alguns tipos básicos de manutenção, a saber: Manutenção Corretiva não programada, Manutenção Corretiva programada, Manutenção Preditiva e Manutenção Preventiva.

A **Manutenção Corretiva Não Programada** tem como característica principal, a intervenção somente após a falha. Esse é provavelmente o tipo mais antigo, já que deu origem as práticas de manutenção pouco antes da Segunda Guerra Mundial. Essas práticas são também conhecidas como a Primeira Geração (KARDEC; NASCIF; 2009).

Infelizmente, esse tipo de manutenção ainda é muito mais presente nos parques fabris do que deveria. Sua característica de reação apenas após a falha pode causar grandes quedas, tanto na produção quanto nos índices de qualidade do produto, pois as paradas inesperadas de produção, não são adequadas ao mundo competitivo atual.

A **Manutenção Corretiva Programada** tem o mesmo princípio da anterior, ou seja, a intervenção também só ocorre após a falha. Porém, a potencial falha é conhecida antes de acontecer, através de um acompanhamento do equipamento, o que permite um certo planejamento para a realização da mesma (KARDEC; NASCIF; 2009).

Isso é feito comumente através da compra de peças sobressalentes, ou até mesmo a substituição do equipamento após a falha. Essa prática costuma ser mais barata do que a anterior, além de proporcionar um maior índice de qualidade no processo e conseqüentemente ao produto final.

A **Manutenção Preditiva** é a atividade que utiliza técnicas de análise para a mensuração de parâmetros de componentes ou sistemas. Através de análises de vibração é possível identificar rolamentos danificados por exemplo, outras técnicas preditivas como análise de lubrificantes, inspeção termográfica entre outras podem indicar desgaste ou falhas iminentes em componentes de um sistema, que devem então ser substituídos. A realização dessa manutenção visa através do monitoramento reduzir a incidência da Manutenção Preventiva ou Corretiva (XENOS; 2004).

A análise de vibração, é uma técnica que identifica através da análise de espectros, falhas como deficiência de lubrificação, desbalanceamentos, cavitação e folgas. Para que esses espectros sejam coletados e posteriormente analisados, é necessário a utilização de um equipamento conhecido como acelerômetro em conjunto com o aparelho coletor, a coleta é realizada e posteriormente os espectros divididos em deslocamento, velocidade e aceleração são estudados permitindo então a identificação de possíveis falhas, porém essa técnica pode ser empregada apenas em equipamentos rotativos (KARDEC; NASCIF; 2009).

A análise de lubrificantes vem sendo usada a muito tempo como uma técnica de manutenção preditiva, porém com o avanço da tecnologia, essa técnica também foi aprimorada. Esse tipo de preditiva tem como objetivos principais a identificação das condições dos lubrificantes e se os mesmos são utilizados corretamente e também é capaz de identificar falhas como desgaste excessivo dos equipamentos ou componentes dos mesmos (KARDEC; NASCIF; 2009).

Porém para a manutenção preditiva ser aplicada, alguns fatores devem ser levados em consideração. O primeiro deles é a possibilidade ou viabilidade de acompanhamento do equipamento ou sistema, pois o monitoramento é a base da manutenção preditiva. Outro fator que deve ser levado em consideração, é o custo desse monitoramento, pois alguns equipamentos necessitam de técnicas preditivas específicas e de custo considerável, e que, dependendo do equipamento podem ou não serem utilizadas.

A **Manutenção Preventiva** é “[...] a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo” (KARDEC; NASCIF; 2009, p.42). A mesma consiste em fazer manutenções em tempos pré-estabelecidos, de forma que essas manutenções evitem as quebras. Esses intervalos são definidos através das especificação com relação a vida útil dos componentes, ou até mesmo de estudos relacionados ao histórico de quebra dos equipamentos.

A manutenção preventiva, é a técnica que proporciona maior qualidade aos parques fabris, além de proporcionar um impacto positivo considerável com relação a produtividade. Porém, a utilização da mesma deve ser muito bem avaliada, pois pode exigir altos custos, que por vezes acabam tornando inviável a aplicação da mesma.

2.2 Engenharia de Manutenção

A expressão engenharia de manutenção se refere a um conceito relativamente recente. Essa prática permite com que se deixe de conviver com problemas crônicos, pois visa desenvolver um melhoramento contínuo de equipamentos e serviços, com o objetivo de permitir o aumento da Confiabilidade e garantir a Disponibilidade dos ativos físicos de uma empresa, através da aplicação de inovação na execução da atividade (BRANCO FILHO, 2008).

Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade são termos presentes no cotidiano da Engenharia de Manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 105), a missão da manutenção é “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalação de modo a atender a um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado”.

A **Confiabilidade** pode ser definida como a “probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições definidas de uso durante um intervalo de tempo estabelecido” (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 106). Segundo Berringer (1963) a confiabilidade é alcançada através da análise do histórico de falhas. Assim, a Equação 1 fornece o indicador de confiabilidade de um equipamento (KARDEC; NASCIF; 2009).

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

R(t) = Confiabilidade a qualquer tempo t;

e = Constante de Euler (e = 2,718);

λ = Taxa de falhas (número total de falhas por período de operação);

t = Tempo previsto de operação.

Já o termo **Disponibilidade** (em inglês *Availability*) é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou intervalo de tempo, levando-se em conta os aspectos combinados de sua Confiabilidade, Manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. O termo “Disponibilidade” se refere à uma medida do desempenho de disponibilidade (NBR 5462-1994).

Segundo Kardec e Nascif (2009), a disponibilidade pode ser classificada como disponibilidade inerente, disponibilidade técnica e disponibilidade operacional. A primeira é um indicador que considera somente o tempo de reparo (manutenção corretiva) do equipamento/sistema. Não são considerados os tempos relacionados à logística, busca de peças sobressalentes etc. A Equação 2 exhibe a fórmula utilizada no cálculo desse indicador.

$$DI = \left(\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

DI = Disponibilidade Inerente (em %);

MTBF= Tempo médio entre falhas (em inglês MTBF- *Mean Time Between Failures*);

MTTR= Tempo médio para reparos (em inglês MTTR- *Mean Time To Repair*).

A Disponibilidade Técnica (*Achieved Availability*), assim como a anterior, também não leva em consideração os tempos relacionados a logística, busca de peças sobressalentes, etc. Porém a mesma considera tanto as manutenções corretivas quanto as manutenções preventivas, podendo ser expressa através da fórmula visível na Equação 3 (KARDEC; NASCIF; 2009).

$$DT = \left(\frac{MTBM}{MTBM+MTTRactive} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

DT = Disponibilidade Técnica (em %);

MTBM= Tempo médio entre manutenções (em inglês MTBM - *Mean time Between Maintenance*);

MTTRactive= Tempo médio para reparos corretivos e preventivos (em inglês MTTRactive - *Mean time to Repair Active*).

Já a Disponibilidade Operacional (*Operational Availability*) é o indicador que melhor representa a disponibilidade de equipamentos, pois leva em consideração tempos gastos com manutenções preventivas, preditivas, corretivas, busca por peças sobressalentes, logística etc. Dessa forma, considera-se o tempo real em que os equipamentos da planta estão em condições normais de operação. O mesmo pode ser calculado através fórmula visível na Equação 4 (KARDEC; NASCIF; 2009).

$$DO = \left(\frac{MTBM}{MTBM+MDT} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

DO = Disponibilidade Operacional (em %);

MTBM= Tempo médio entre manutenções (em inglês MTBM - *Mean time Between Maintenance*);

MDT= Tempo médio de paralizações (em inglês MDT - *Mean Down Time*).

A **Mantenabilidade** (ou Manutenibilidade, em inglês *Maintainability*), pode ser definida como a “característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção” (KARDEC; NASCIF; 2009, p.116). Em termos matemáticos é a probabilidade associada ao restabelecimento do funcionamento de um sistema em um limite de tempo, condições e meios pré-estabelecidos (KARDEC; NASCIF; 2009). A Equação 5 exhibe a fórmula para o cálculo da Manutenibilidade.

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

Onde:

$M(t)$ = Manutenibilidade, representa a probabilidade que o reparo seja concluído no tempo t ;

μ = Taxa de reparos ou número de reparos efetuados em relação ao total de horas de reparo do equipamento;

t = Tempo previsto de reparo.

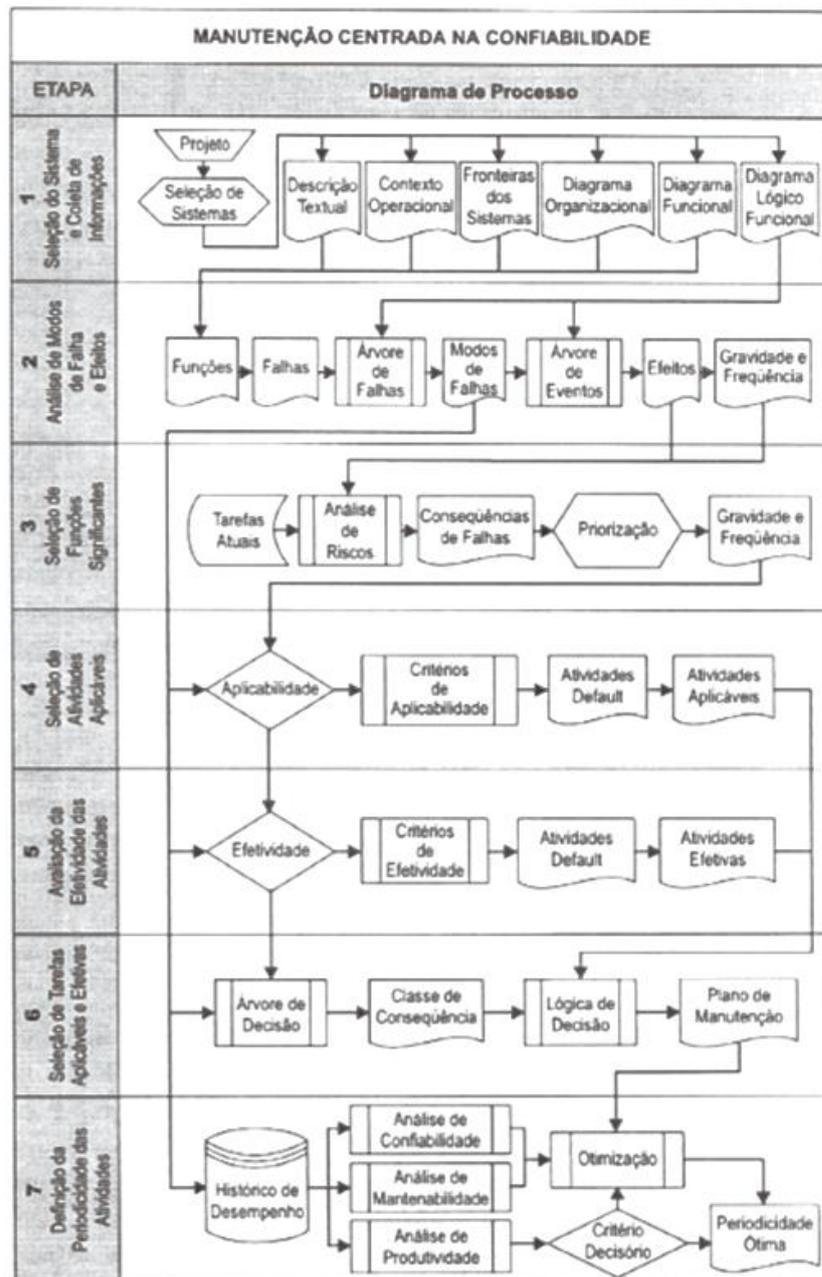
2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

RCM (*Reliability Centered Maintenance*), ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma metodologia de manutenção que teve em seu início a aplicação em aeronaves nos Estados Unidos, essa metodologia se tornou parte importante dos programas de manutenção de aviões e navios militares (SIQUEIRA, 2005).

Nos tempos atuais a MCC se tornou ferramenta de grande importância na busca por altos índices de Disponibilidade de equipamentos de um parque fabril e, conseqüentemente, no aumento da produtividade industrial. O objetivo da MCC é evidenciar qual o nível de Confiabilidade de um equipamento em um determinado tempo “ t ”, ou seja, a frequência ótima de manutenção preventiva em um determinado equipamento.

Para isso, a MCC se utiliza de análises de dados estatísticos relacionados ao histórico de falhas do equipamento. Siqueira (2005) ressalta que para a sua implementação é de extrema importância seguir uma sequência estruturada, como visível no diagrama da Figura 01.

Figura 01- Sequência de implantação da MCC.



Fonte: SIQUEIRA, 2005, p. 21.

2.3.1 Seleção do sistema e coleta de informações

Na primeira etapa de Seleção de Sistema e coleta de informações, busca-se definir e documentar o equipamento/processo a ser analisado. O projeto de engenharia pode ser utilizado para documentação de entrada. Dessa forma são gerados os seguintes produtos (SIQUEIRA, 2005):

- Descrição textual do sistema;
- Definição do contexto operacional;
- Caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas e componentes;
- Diagrama funcional do sistema;
- Diagrama lógico funcional do sistema.

Essa etapa proporciona um entendimento do funcionamento do item em questão, além é claro de atingir o objetivo principal dessa etapa que é a identificação e documentação do objeto a ser analisado.

2.3.2 Análise de Modos de Falhas e Efeitos

Nessa etapa, Análise de Modos de Falhas e Efeitos, são identificadas e documentadas as funções e seus modos de falhas, além dos efeitos produzidos. Para isso utiliza-se a metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), e documentados os seguintes aspectos (SIQUEIRA, 2005).

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

Normalmente são utilizadas Árvores de Falha e de Eventos, usualmente derivados da primeira etapa da MCC, e posteriormente os resultados são registrados no formulário padronizado FMEA. Devido à importância dessa análise, esse tópico será detalhado posteriormente.

2.3.3 Seleção de Funções Significantes

Nessa etapa utiliza-se um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior e determinar se a falha influencia significativamente. Os resultados obtidos na etapa anterior são utilizados como dados de entrada para a análise de riscos e consequências. A partir disso se faz uma priorização de acordo com o grau de significância. O resultado final desta etapa, é a documentação de funções de significância, que serão utilizadas em etapas posteriores da implantação (SIQUEIRA, 2005).

2.3.4 Seleção de Atividades Aplicáveis

Nesse estágio o resultado desejado é relacionado às atividades de manutenção preventiva tecnicamente viáveis, seja para prevenir, ou corrigir cada modo de falha, ou até mesmo amenizar a consequência das mesmas. Também é possível estimar se a manutenção preventiva é ou não aplicável, com a possível adoção de uma ação alternativa (SIQUEIRA, 2005).

2.3.5 Avaliação da Efetividade das Atividades

A quinta etapa, é responsável pela avaliação com relação a tarefa de manutenção preventiva e sua efetividade para reduzir a um nível aceitável as consequências previstas para uma falha. Como resultado deste processo, uma das seguintes opções é escolhida (SIQUEIRA, 2005).

- Manutenção preventiva é recomendada;
- Manutenção preventiva é desnecessária; ou
- Ação alternativa (*default*) sugerida.

2.3.6 Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas

Na sexta etapa, com a utilização de um processo estruturado, a melhor tarefa será definida de através da análise dos seguintes aspectos (SIQUEIRA, 2005):

- Resultados do processo;
- Impactos operacionais;
- Segurança Física; e
- Impactos Ambientais.

São utilizados dois subprocessos. Primeiramente uma árvore de decisão é utilizada para classificar a consequência de cada modo de falha. Posteriormente, a classificação será utilizada na criação de um plano de manutenção preventiva, contendo as efetivas atividades para seus respectivos modos de falhas. Os resultados obtidos podem ser avaliados por uma variável definida pela entidade, como por exemplo uma variável econômica. Como resultado desta etapa, tem-se a lista de tarefas que irá compor o plano de manutenção do item analisado, (SIQUEIRA, 2005).

2.3.7 Definição da Periodicidade das atividades

Na sétima etapa, são definidos os métodos e critérios para a definição da periodicidade ou da frequência para execução das atividades além do planejamento e estruturação da implantação da metodologia na empresa (SIQUEIRA, 2005). Para isso quatro sub- processos são utilizados:

- Análise de Confiabilidade. Determina-se as estatísticas descritivas da confiabilidade da população de componentes;
- Análise de Manutenibilidade. Determinação das estatísticas descritivas de manutenibilidade da população dos componentes;
- Análise de Produtividade. Determinação das estatísticas descritivas de resultados gerados pela manutenção e falha dos componentes; e
- Otimização. Cálculo do intervalo ótimo de cada atividade do plano de manutenção.

As estatísticas são obtidas preferencialmente por amostragem no histórico de desempenho dos equipamentos ou dados similares, ou até mesmo por estimativas baseadas no conhecimento de especialistas. Com os resultados obtidos, é possível a geração dos programas para a implantação da metodologia MCC, com a periodicidade das atividade, que serão usadas na alimentação do sistema de informação utilizado para a gestão da manutenção (SIQUEIRA,2005).

2.4 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos (FMEA)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysys*) é uma ferramenta cujos objetivos são identificar, documentar e priorizar falhas potenciais. Pode ser aplicada em equipamentos, sistemas ou em processos. Trata-se de um processo formal que utiliza especialistas dedicados a analisar as falhas e soluciona-las por meio de um sistema lógico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece recomendações para ações preventivas (KARDEC; NASCIF; 2009).

Os mesmos autores apontam três tipos de FMEA: projeto, processo e sistema. O de projeto dedica-se a eliminar as causas de falha durante o projeto do equipamento, levando em consideração todos os aspectos desde manutenibilidade até aspectos ligados a segurança. O de processo analisa como o equipamento é mantido operando. Já o de sistema se preocupa com as falhas potenciais e gargalos no processo global, como uma linha de produção (KARDEC; NASCIF; 2009).

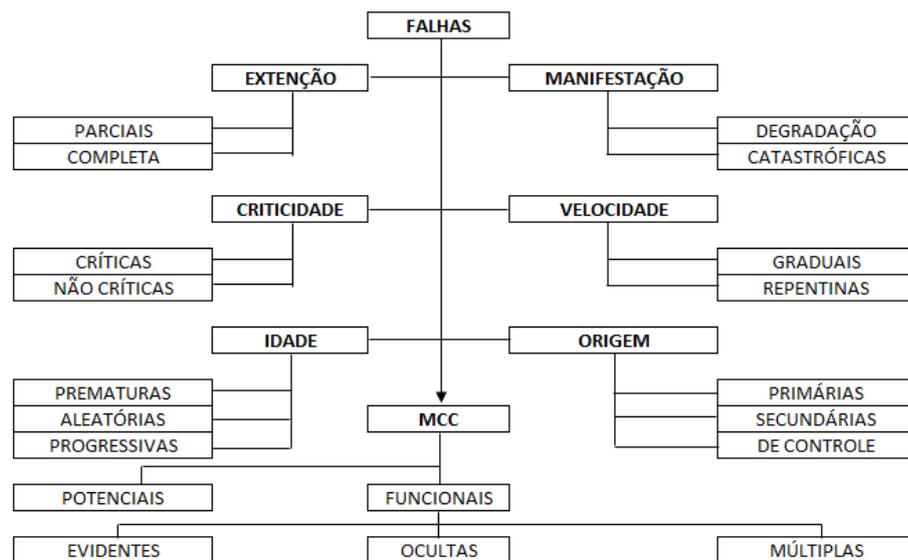
No setor de manutenção industrial, o FMEA de processo é mais utilizado, pois os equipamentos já estão operando e a aplicação da ferramenta pode proporcionar uma maior confiabilidade ao equipamento. Também deve-se levar em consideração o fato de que os “especialistas” nos equipamentos estão na manutenção.

Para a aplicação de FMEA, indica-se que as equipes sejam multidisciplinares, formadas por técnicos e engenheiros de especialidades variadas. Também é recomendada a participação dos operadores. Essa característica multidisciplinar no grupo de aplicação do FMEA, pode proporcionar maior produtividade e também maior eficiência no aspecto relacionado a custos (KARDEC; NASCIF, 2009).

2.4.1 Conceituação das Falhas

Segundo (SIQUEIRA, 2005, p. 51), a falha “consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada”, ou seja, mesmo quando se cumpre, porém de forma parcial determinada função, deve ser considerada como falha. Os parâmetros utilizados para análise são baseados nas especificações técnicas do equipamento ou sistema. O autor classifica as falhas segundo vários aspectos como: origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade ou idade.

Figura 02 – Classificação das falhas.



Fonte: Siqueira (2005, p. 52).

2.4.1 Etapas para aplicação do FMEA

Para a aplicação do FMEA, é utilizado um formulário juntamente com o que se conhece por matriz de decisão. Um dos objetivos do preenchimento, está relacionado a análise detalhada do equipamento e as possíveis falhas que possam ocorrer nos diversos componentes/subconjuntos do equipamento. Um exemplo de formulário pode ser visualizado na Figura 03.

Figura 03 – Formulário de preenchimento FMEA

EMPRESA X		FMEA - Análise do Modo e Efeito da Falha										Revisão							
		() Manutenção		() Operação		() Sistemas													
Identificação		Local	U 431	Setor	Britagem	Sistema	Primário			Equipamento	Britador	TAG	431-BT-02						
SUB ITEM	COMPONENTE/ PROCESSO	FUNÇÃO	POSSÍVEIS FALHAS			CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES ATUAIS				AÇÕES CORRETIVAS		ÍNDICES MELHORADOS						
			MODO	EFEITO	CAUSAS		F	G	D	NPR	Recomendada	Adotada	F	G	D	NPR			

Fonte: Kardec e Nascif (2009, p.130).

A matriz de decisão, por sua vez, deve ser parametrizada de acordo com as diretrizes da empresa, a mesma é peça “chave” no processo de tomada de decisão, pois com a utilização de parâmetros corretos é possível identificar as chamadas “Ações Recomendadas” de forma coerente, como segue:

1. Componente: Componente em análise;
2. Função do componente: Evidenciar função do componente, pois essa informação será utilizada como parâmetro de supostas falhas, sendo que o equipamento falha quando sua função não é cumprida corretamente;
3. Falhas possíveis: Coluna referente a potenciais falhas do equipamento, no intuito de identificar e agir de forma preventiva contra as mesmas;
4. Efeitos potenciais: São as consequências ao sistema com relação aos modos de falhas. Pode-se utilizar como parâmetro dos efeitos, a identificação do cliente com relação a falha;

5. Causas: Motivo causador da potencial falha, levando em consideração a divisão do equipamento em subgrupos dos principais sistemas, a falha pode ocorrer no próprio componente, ou até mesmo no componente vizinho porém pertencente ao mesmo sistema;
6. Controles atuais: São as atividades como por exemplo manutenções preditivas já realizadas no componente em análise;
7. Severidade: Indicador referente ao real impacto da falha potencial, tendo o mesmo uma relação direta entre efeito e severidade, pois quanto mais crítico é o efeito mais alta é a severidade;
8. Ocorrência: Índice que indica a frequência da falha em potencial a partir de um número estimado em que as falhas poderiam ocorrer, na intenção de prevenir as causas e reduzir suas frequências;
9. Detecção: Indicador de detecção das falhas antes do acontecimento da mesma, onde quanto maior a dificuldade de detecção precoce da falha, maior o índice de detecção;
10. Ação recomendada: Ação “sugerida” após o estudo e análise dos sistemas em questão. Essa coluna pode sugerir os seguintes resultados: MPT (Manutenção Preventiva por tempo), para ações normalmente utilizadas em componentes em que não se consegue “monitorar” através de manutenções preditivas as condições de funcionamento do mesmo. Sendo assim as manutenções devem ser feitas de forma preventiva, utilizando como parâmetro as especificações do fabricante, com relação a vida útil do componente; MPC (Manutenção Preventiva por condição), utilizada quando é possível “monitorar” através de manutenções preditivas, as reais condições de conservação dos componentes do equipamento. Quando se identifica através de manutenções preditivas que determinado componente apresenta risco de falhar, agimos de forma preventiva, tratando a possível falha, eliminando assim o risco do equipamento falhar e consequentemente aumentando a confiabilidade do mesmo; MC (Manutenção corretiva), quando falhas em determinados componentes, causem danos de pouco ou nenhum impacto na produção, segurança e meio ambiente. Nesse caso, esperamos o equipamento falhar, para posteriormente tratar a mesma, agindo de forma corretiva; MM (Manutenção/Melhoria), adotada quando se identifica falhas com altos níveis de severidade e ocorrência. Quando chega-se à conclusão de que melhorias devem

ser realizadas, é preciso ter muita cautela, pois as “melhorias” não devem interferir de forma negativa nas especificações técnicas do equipamento;

11. NPR: Número de Prioridade de Risco, é produto do índice de ocorrência, severidade e detecção. É responsável pela “priorização” da falha, ou seja, qual a prioridade para tratativa de determinada falha.

Um exemplo de matriz de decisão pode ser visualizado na Tabela 01.

Tabela 01- Matriz de decisão.

Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA F	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE D	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
ÍNDICE DE RISCO NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1000

Fonte: Kardec e Nascif (2009, p.129).

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em quatro sopradores de ar modelo KA-100 (Figura 04) de uma indústria do setor alimentício do interior de São Paulo. O equipamento a ser estudado, tem vazão máxima de 20.000 m³/h, e trabalha em regime de 24/7. Os sopradores de ar, são utilizados no processo de fermentação, onde o mesmo tem como uma de suas funções principais o fornecimento de oxigênio para a fermentação aeróbica. Quando os equipamentos não funcionam corretamente causam uma “inversão” nos parâmetros do processo, que passaria a produzir álcool e não o produto de origem alimentícia que é objetivo.

Figura 04 – Soprador de ar para o processo de fermentação.



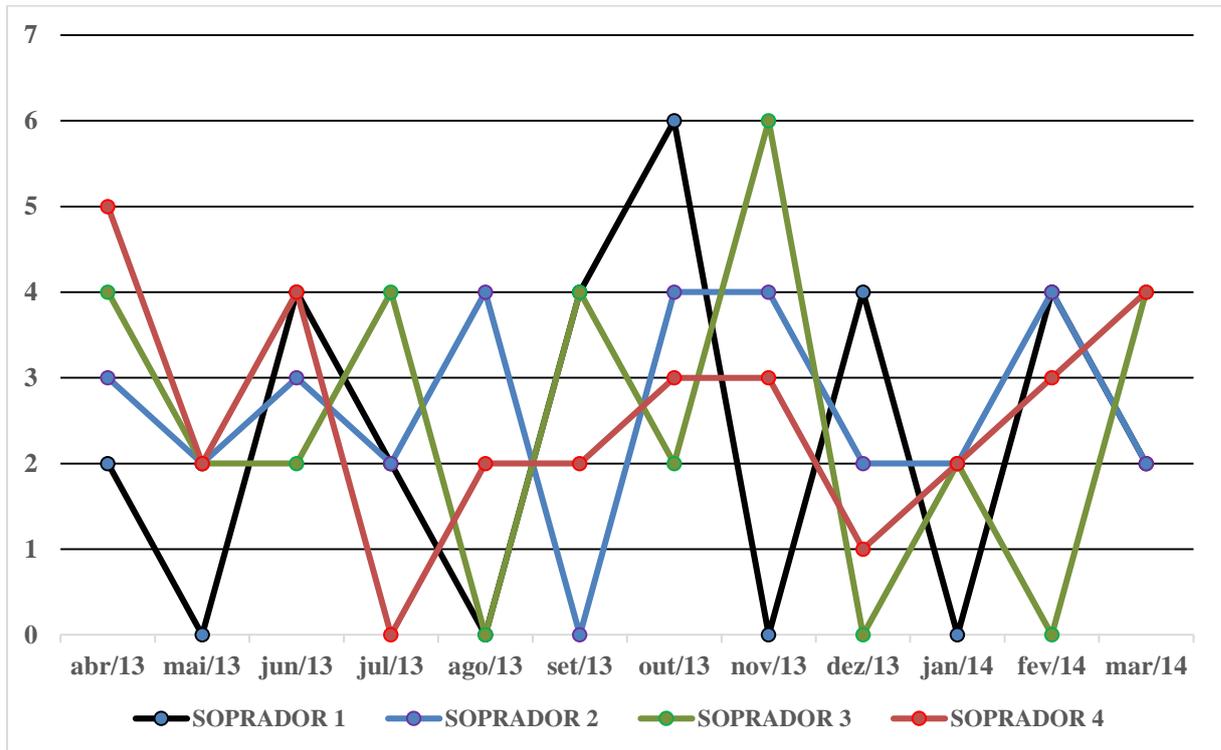
Fonte: a empresa.

3.1 Identificação do problema

Os dados utilizados para realização do estudo de caso, foram extraídos do SAP (*Systems, Applications and Products in Data Processing*), através de relatórios gerados em função do número de ordens de serviço (Manutenções Corretivas) abertas para o setor de manutenção entre os dias 01/04/2013 a 31/03/2014. Através dos relatórios foi possível determinar o número de falhas apresentadas pelos equipamentos na safra 2013/2014.

O número expressivo de falhas durante a safra (Gráfico 1) causaram impactos consideráveis para o processo e, conseqüentemente, a redução da produtividade. Dessa forma, foi identificada a necessidade do aumento da disponibilidade do equipamento através de técnicas que proporcionem maior confiabilidade do mesmo.

Figura 05 – Histórico de falhas dos sopradores.



Fonte: o autor.

3.1 Definição da equipe para aplicação do FMEA

A aplicação das ferramentas do FMEA, tem como um de seus objetivos o aumento da confiabilidade de um equipamento/sistema através da identificação de falhas potenciais do mesmo. Porém, isso não impede que sejam utilizadas informações relacionadas ao histórico de falhas que já ocorreram no equipamento em estudo. Na busca por identificar essas possíveis falhas, formou-se então uma equipe multidisciplinar, característica essencial para que se alcance um bom nível de eficácia na aplicação da ferramenta. A equipe é composta por Engenheiros, Técnicos das áreas de mecânica, elétrica e instrumentação, totalizando 5 integrantes.

3.2 Divisão do equipamento e seus principais sistemas

Após a formação da equipe, teve início o processo de preenchimento do formulário FMEA (Tabela 02). O primeiro passo é a divisão do equipamento em “subgrupos” de seus principais sistemas de funcionamento. Essa divisão, é de extrema importância na identificação das falhas potenciais, pois dessa forma é possível “visualizar” de forma mais clara e detalhada quais falhas podem ocorrer, quais os subgrupos e os respectivos componentes responsáveis pela falha.

Tabela 02 – Principais sistemas do soprador.

Subgrupo	Descrição
1	Motor elétrico linear (Difusor - saída)
2	Motor elétrico linear (Pré rotação - entrada)
3	Multiplicador de velocidades (conjunto de engrenagens)
4	Sistema de refrigeração (Óleo refrigerador)
5	Controles de pressão e temperatura
6	Motor elétrico
7	Válvula de alívio
8	Válvula de retenção

Fonte: o autor.

3.3 Funções do sistema

A definição com relação as funções dos sistemas em questão (Tabela 03) servirá como parâmetro para a etapa seguinte de identificação das falhas potenciais. Como já mencionado, a falha é caracterizada a partir do momento em que determinado sistema ou componente passa a não cumprir de forma correta suas funções.

Tabela 03 - Funções dos componentes em análise.

Subgrupo	Função
1	Controlar vazão de saída
2	Controlar vazão de entrada
3	Multiplicar velocidade
4	Refrigerar lubrificante
5	Controlar temperatura de óleo e pressão do ar
6	Transformar energia elétrica em energia mecânica
7	Proteger sistema contra pressão excessiva
8	Evitar contra- Fluxo

Fonte: o autor.

3.4 Falhas potenciais

A etapa seguinte foi a identificação e documentação das falhas potenciais do equipamento. A importância da divisão do equipamento e seus principais sistemas, ficou ainda mais evidente, pois um mesmo sistema pode apresentar diversas falhas de diferentes naturezas.

Outro fator de grande relevância, foi a utilização do “histórico de falhas” como lição aprendida, pois apesar da ferramenta FMEA identificar falhas potenciais, as informações referentes a falhas que já ocorreram não foram ignoradas, já que um dos objetivos da utilização da metodologia, foi a identificação de informações que auxiliem na tomada de decisão para ações preventivas ou preditivas. A Tabela 04 identifica as falhas potenciais listadas pela equipe envolvida no estudo em questão.

Tabela 04 – Falhas potenciais identificadas.

Subgrupo	Falha potencial
1	Queima do difusor
1	Falha na atuação do fim de curso
2	Queima no difusor
2	Falha na atuação do fim de curso
3	Desgaste do Conjunto (Mancal patente)
3	Desalinhamento das engrenagens
4	Ineficiencia na refrigeração
4	Falha na bomba de óleo
5	Falha de comunicação
5	Falha em instrumentos
6	Desgaste prematuro dos rolamentos
6	Desbalanceamento do rotor
6	Falha nos enrolamentos
6	Problemas no acionamento elétrico
6	Sistema de ventilação ineficiente
6	Aquecimento dos mancais
7	Queima da válvula
7	Rolamento danificado
7	Contatos de indicação danificados
7	Sede danificada
8	Contra Fluxo

Fonte: o autor.

3.5 Efeitos de Falha Potencial

Após a etapa de identificação das falhas, começamos a identificar os seus respectivos efeitos, e documenta-los. A identificação dos efeitos, será utilizada em processos posteriores para prevenir ou minimizar os efeitos causados pelas falhas. Na tabela 5, estão listados os possíveis efeitos causados pela potenciais falhas.

Tabela 05 – Efeitos das falhas.

Subgrupo	Efeito da falha potencial
1	Desarme por queima do difusor
1	Falta de informações sobre regime de trabalho
2	Desarme por queima do difusor
2	Falta de informações sobre regime de trabalho
3	Vibração excessiva e posterior desarme
3	Vibração excessiva e posterior desarme
4	Danifica componentes internos
4	Atrito excessivo e posterior desarme
5	Temperatura e pressão inadequados e posterior desarme
6	Travamento do motor
6	Vibração anormal e sobreaquecimento
6	Queima do motor
6	Parada repentina
6	Sobreaquecimento do motor
6	Desgaste dos rolamentos
7	Queima da válvula
7	Pressão excessiva na linha
8	Desarme do equipamento

Fonte: o autor

3.6 Causas da Falha em Potencial

As causas responsáveis pelas falhas identificadas, foram listadas na etapa posterior, onde o intuito dessa identificação é justamente tratar a “causa raiz” da falha. Através da identificação correta e posteriormente uma tratativa adequada, é possível evitar que as falhas se tornem recorrentes, aumentando então a confiabilidade do equipamento. A tabela 6, exibe as possíveis causas das falhas potenciais citadas anteriormente.

Tabela 06 – Causas das falhas potenciais

Subgrupo	Causas das falhas potenciais
1	Falta de fase
1	Desgaste natural
2	Falta de fase
2	Desgaste natural
3	Deficiência de lubrificação
3	Folgas ou problemas na fixação
4	Obstrução do trocador de calor
4	Alta temperatura de água na entrada
5	Falta de calibração periódica
5	Rompimento de sensores
6	Lubrificação inadequada
6	Rolamentos danificados
6	Sobreaquecimento
6	Sobreaquecimento do motor
6	Desgaste de componentes elétricos
7	Desgaste natural
8	Desgaste de componentes internos da válvula

Fonte: o autor.

3.7 Controles atuais

A coluna de “controles atuais” serviu como indicador de atividades como manutenções preditivas ou manutenções preventivas já realizadas no equipamento em análise, dessa forma buscamos eliminar ou acrescentar atividades que proporcionem o aumento da confiabilidade do equipamento.

3.8 Matriz de decisão

Após o preenchimento das etapas anteriores do formulário FMEA, foram preenchidos os campos referentes a matriz de decisão. A matriz foi dividida segundo seus três seguintes indicadores: severidade, ocorrência e detecção. A matriz de severidade pode ser visualizada na Tabela 07, seguida da matriz de Ocorrência da tabela 08 e matriz de Detecção da tabela 09.

Tabela 07 – Matriz de decisão - Severidade

TABELA DE AVALIAÇÃO DE SEVERIDADE		
EFEITO	CRITÉRIO: SEVERIDADE DO EFEITO	NÍVEL
PARADA INSIGNIFICANTE ≤ 30 MIN	SEM FEITO SIGNIFICANTE PARA A PRODUÇÃO/SEGURANÇA/MEIO AMBIENTE.	1
PARADA SIGNIFICANCIA LEVE > 30 MIN ≤ 90 MIN	EFEITO LEVEMENTE SIGNIFICANTE PARA A PRODUÇÃO/SEGURANÇA/MEIO AMBIENTE.	2
PARA CONSIDERÁVEL > 90 MIN ≤ 180 MIN	PARADA DE IMPACTO CONSIDERAVÉL PARA A PRODUÇÃO/SEGURANÇA/MEIO AMBIENTE.	3
PARADA CATASTRÓFICA > 180 MIN	GRANDE IMPACTO PARA A PRODUÇÃO/SEGURANÇA/MEIO AMBIENTE.	4

Fonte: O próprio autor

Tabela 08 – Matriz de decisão - Ocorrência

TABELA DE AVALIAÇÃO DE OCORRÊNCIA		
	PROBABILIDADE DE FALHA	FREQUÊNCIA DE FALHA
1	BAIXA	< 5 FALHAS/ANO
2	MÉDIA	$> = 5$ FALHAS/ANO E < 10 FALHAS/ANO
3	ALTA	$> = 10$ FALHAS/ANO E < 20 FALHAS/ANO
4	MUITO ALTA	$> = 20$ FALHAS/ANO

Fonte: o autor.

Tabela 09 – Matriz de decisão - Detecção

TABELA DE AVALIAÇÃO DE DETECÇÃO		
DETECCÃO	CRITÉRIO	ÍNDICE DE DETECCÃO
CERTAMENTE SERÁ DETECTADA	A FALHA SERÁ IDENTIFICADA ATRAVÉS DE PROCEDIMENTO OPERACIONAL	1
GRANDE CHANCE DE DETECCÃO	A FALHA TEM GRANDES CHANCES DE SER DETECTADAS ATRAVÉS DE MONITORAMENTO	2
QUASE IMPOSSÍVEL	PEQUENA CHANCE DE DETECCÃO DA FALHA	3
IMPOSSÍVEL	SEM A POSSIBILIDADE DE DETECCÃO DA FALHA	4

Fonte: o autor.

Os parâmetros de aplicação dos mesmos, foram definidos pela equipe multidisciplinar responsável pela aplicação do FMEA, através da análise de dados referentes ao histórico de falhas do equipamento e análise de parâmetros de processo, levando em consideração, a “dimensão real” das potenciais falhas em função do processo de fermentação.

3.9 Ação recomendada

O preenchimento dos campos de severidade, ocorrência e detecção, são peças fundamentais para a conclusão do FMEA, pois os valores indicados nos campos citados, são responsáveis pela geração da informação referente a “Ações recomendadas”, que auxiliam na tomada de decisão. Com o objetivo de se detectar de forma analítica as reais necessidades de cada potencial falha, foram utilizados os “critérios” exibidos na Figura 06, onde foram parametrizadas na seguinte sequência.

1. Se a soma entre “severidade” e “ocorrência” for menor ou igual a 3, então a “ação recomendada” é de uma manutenção corretiva;
2. Se a soma entre “severidade” e “ocorrência” for maior ou igual 6, então a “ação recomendada” é de uma manutenção por melhoria;
3. Se o índice de “detecção” for maior ou igual a 3, então a “ação recomendada” é de uma manutenção preventiva por tempo, caso contrário a “ação recomendada” será de uma manutenção preventiva por condição.

Figura 06 - Critérios de decisão para ação recomendada.

=SE(G8+H8<=3;"MC";SE(G8+H8>=6;"MM";SE(I8>=3;"MPT";"MPC")))							
	G	H	I	K	L	M	N
	SEVERIDADE	OCCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR	AÇÃO RECOMENDADA	NOME DO RESPONSÁVEL E PRAZO	AÇÃO TOMADA

Fonte: o autor.

Os mesmos critérios também foram definidos pela equipe através de informações referentes ao histórico de falhas do equipamento. Porém, também foi levado em consideração a experiência da equipe, fato esse que foi de extrema importância durante todo o trabalho.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

Após a aplicação do FMEA foram identificadas as potenciais falhas. Dessa forma, foram trabalhadas as informações do questionário com o objetivo de reduzir o número de falhas já existentes, além de prevenir ou diminuir os impactos referentes falhas potenciais. Foram criados planos de manutenção preventivos e preditivos, como por exemplo análise de vibração e análise de lubrificantes, além de um plano de calibração dos instrumentos do equipamento em estudo. As Tabela 10 e 11, exibem a descrição dos subgrupos/subsistemas, suas respectivas falhas potenciais, ações recomendadas e ações tomadas.

Tabela 10 – Descrição do subgrupos, e suas respectivas falhas potenciais, ações recomendadas e ações tomadas.

DESCRIÇÃO	TIPO DE FALHA POTENCIAL	AÇÃO RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA
MULTIPLICADOR DE VELOCIDADE (CONJUNTO DE ENGRENAGENS)	DESGASTE DO CONJUNTO DE ENGRENAGENS (MANCAL PATENTE)	MPC	criação plano preditivo: análise de vibração e análise de lubrificante
	DESALINHAMENTO NAS ENGRENAGENS	MPC	criação plano preditivo: análise de vibração
ÓLEO REFRIGERADOR	INEFICIÊNCIA NA REFRIGERAÇÃO DO LUBRIFICANTE	MPC	plano já existente
	FALHA NO BOMBEAMENTO DE ÓLEO	MPC	criação plano preditivo: inspeção
CONTROLES DE PRESSÃO E TEMPERATURA	FALHA NA COMUNICAÇÃO - FALHA EM INSTRUMENTOS	MPT	criação plano de calibração mensal

Fonte: o autor.

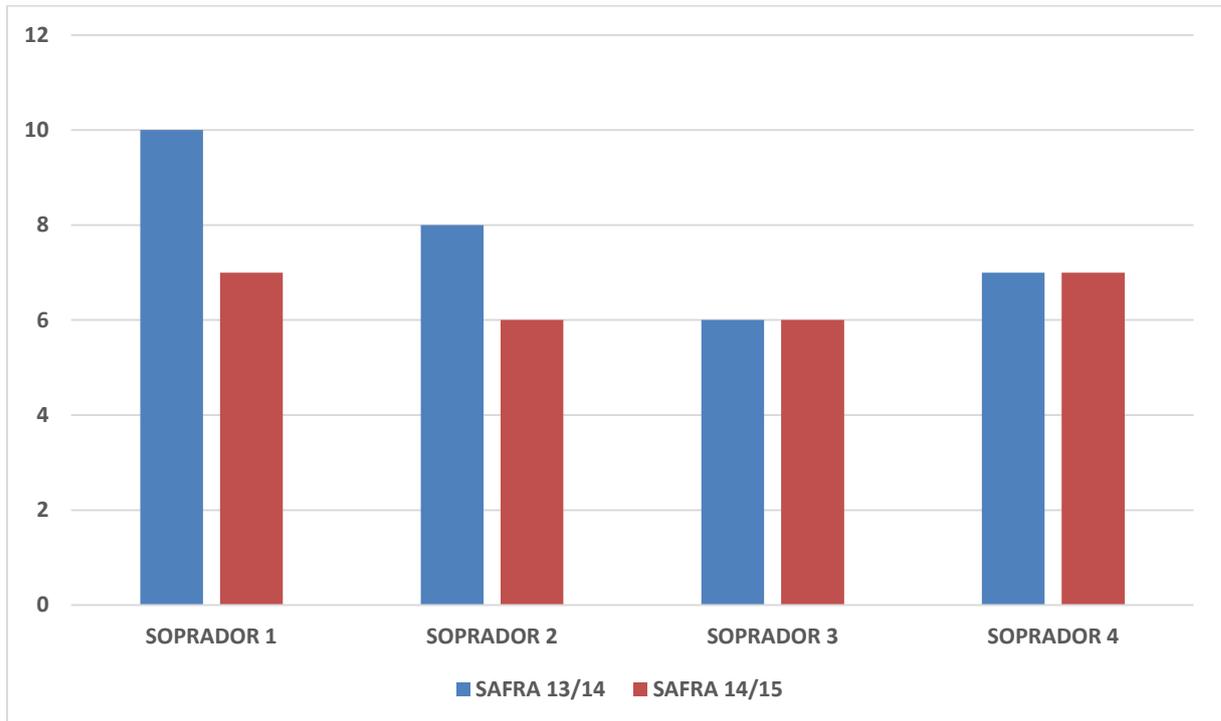
Tabela 11 – Descrição do subgrupos, e suas respectivas falhas potenciais, ações recomendadas e ações tomadas.

DESCRIÇÃO	TIPO DE FALHA POTÊNCIAL	AÇÃO RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA
MOTOR ELÉTRICO	DESBALANCEAMENTO DO ROTOR	MPC	criação plano preditivo: análise de vibração
	FALHA NOS ENROLAMENTOS	MPT	criação plano preventivo
	PROBLEMAS NO ACIONAMENTO ELÉTRICO	MPT	criação plano preventivo
	VENTILAÇÃO DO MOTOR INEFICIENTE	MPT	criação plano manutenção preventiva anual
VÁLVULA DE ALÍVIO	QUEIMA DA VÁLVULA	MPT	criação plano preventivo
	SEDE DANIFICADA	MPT	plano já existente

Fonte: o autor.

As “ações tomadas” obtidas através do estudo, tiveram início no mês de agosto de 2014, e comparadas com o histórico de falhas durante o mesmo período do ano de 2013. A Figura 07 exhibe os comparativos dos históricos de falhas dos sopradores nesses períodos. Após a análise das horas de indisponibilidade do equipamento, extraído através de um relatório do MES (*Manufacturing Execution Systems*) preenchido por colaboradores do setor, identificamos que o MDT (Tempo médio de paralisações) dos sopradores era de 5 horas. Posteriormente foi comparado os índices de disponibilidade dos equipamentos entre os meses de Agosto á Outubro das safras de 2013/2014 e 2014/2015, como é possível visualizar nas equações de 6 a 13.

Figura 07 – Histórico de falhas entre 01/08 a 31/10/2014.



Fonte: o autor.

$$DO = \left(\frac{MTBM}{MTBM + MDT} \right) \times 100$$

$$DO_{sop1 - 13/14} = \left(\frac{216}{216+5} \right) \times 97,7\% \quad (6)$$

$$DO_{sop1 - 14/15} = \left(\frac{308,6}{308,6+5} \right) \times 100 = 98,4\% \quad (7)$$

$$DO_{sop2 - 13/14} = \left(\frac{270}{270+3} \right) \times 100 = 98,9\% \quad (8)$$

$$DO_{sop2 - 14/15} = \left(\frac{360}{360+3} \right) \times 100 = 99,17\% \quad (9)$$

$$DO_{sop3 - 13/14} = \left(\frac{360}{360+3} \right) \times 100 = 99,17 \quad (10)$$

$$DO_{sop3 - 14/15} = \left(\frac{360}{360+3} \right) \times 100 = 99,17 \quad (11)$$

$$DO_{sop4 - 14/15} = \left(\frac{308,6}{308,6+5} \right) \times 100 = 98,4\% \quad (12)$$

$$DO_{sop4 - 14/15} = \left(\frac{308,6}{308,6+5} \right) \times 100 = 98,4\% \quad (13)$$

Houve uma redução de 16% no número de falhas dos equipamentos, durante os meses e suas respectivas safras mencionados acima, conseqüentemente aumentado a confiabilidade dos mesmos, já que o número de falhas também diminuiu. Porém, ainda não é possível mensurar todos os ganhos obtidos através da aplicação da metodologia MCC, pois os resultados são mais evidentes a médio e longo prazo.

Presume-se que a diminuição das falhas nesse curto período de tempo, se deu em função principalmente da ação referente a calibração periódica de instrumentos do equipamento. Após a criação de um plano mensal citado anteriormente, percebeu-se uma diminuição no número de falhas em um curto período de tempo.

Após a certificação de que os componentes responsáveis pela troca térmica do fluido dos equipamentos estavam funcionando normalmente foi identificado que um dos motivos causadores das falhas era a falta de calibração dos instrumentos do equipamento.

Isso ocorreu porque o equipamento possuía uma condição de desarme se a temperatura do óleo estivesse acima de 60 °C. Esse desarme ocorria com frequência. A alta temperatura estava relacionada à falta de calibração dos instrumentos, que emitia a informação incorreta e o dispositivo de proteção do equipamento atuava causando o desarme.

Outro ponto importante, foi a identificação de um problema crônico no equipamento, pois um grande número de falhas é atribuído ao que se conhece por contra fluxo. Porém, apesar de todo o esforço da equipe de manutenção, não foi possível corrigir o problema. Foi necessário a contratação de um técnico especialista, cujo comparecimento não coincidiu com a escrita desse trabalho.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as ações de melhoria propostas, pôde se constatar a eficiência da aplicação da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade. A utilização de conceitos da MCC, ocasionaram uma diminuição no número de falhas, além de aumentar o tempo disponível para a operação do equipamento, proporcionando aumento na confiabilidade e, conseqüentemente, na disponibilidade dos equipamentos de uma unidade produtiva. Tendo conhecimento do mercado competitivo atual, a busca por maior eficiência dos recursos produtivos é um grande diferencial para as organizações se manterem no mercado.

Outro ponto que deve ser destacado é que, para a aplicação dos conceitos relacionados a MCC, deve-se ter o respaldo da alta gerência, pois a prática da MCC é vista como de utilização em organizações de alto padrão. Isso é parcialmente verdadeiro, pois é necessário uma boa estrutura, além de profissionais capazes de utilizar a metodologia com responsabilidade.

Também pôde se constatar que a MCC tende a elevar os custos de manutenção, porém os custos de produção são reduzidos, já que a grande diminuição de paradas repentinas no processo, proporcionam grande aumento na produtividade, tornado a aplicação da MCC viável no ponto de vista econômico. Assim, antes da aplicação da metodologia, deve-se analisar a real necessidade da utilização da mesma, pois o grande objetivo da MCC, é manter o equipamento funcionamento. Dessa forma manutenções preventivas e preditivas são ferramentas chave na metodologia.

REFERÊNCIAS

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

BRANCO FILHO, G., 2008. A Organização, O Planejamento e o Controle da Manutenção. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna Ltda.

KARDEC, Alan. Manutenção: função estratégica / Alan Kardec, Júlio Nascif. – 3 ed. Ver. E ampl.- Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implementação/ Iony Patriota de Siqueira. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. Gerenciando a manutenção produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

ANPÊNDICE A – FORMULÁRIO DE PREENCHIMENTO FMEA

FMEA - ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				
DATA DOCUMENTO: 11/07/2014				
EQUIPAMENTO SOPRADOR DE AR KA-100		EQUIPE: GABRIEL, PAULO, GENILSON, EDUARDO, PAULO ALEXANDRE.		
DESCRIÇÃO	FUNÇÃO(S)	TIPO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO DE FALHA POTENCIAL	CAUSA(S) DA FALHA EM POTENCIAL
MOTOR ELÉTRICO LINEAR (DIFUSOR)	CONTROLAR VAZÃO SAÍDA	QUEIMA DO DIFUSOR	DESARME APÓS INDICAR FALHA POR QUEIMA DO DIFUSOR, QUEIMA POTENCIOMETRO PROVOCA FALTA DE VISUALIZAÇÃO DA PORCENTAGEM DE TRABALHO NO PAINEL	FALTA DE FASE
		FALHA ATUAÇÃO NO FIM DE CURSO	DESARME DO EQUIPAMENTO APÓS INDICAR FALHA	DESGASTE NATURAL
MOTOR ELÉTRICO LINEAR (PRÉ ROTAÇÃO)	CONTROLAR VAZÃO ENTRADA	QUEIMA DIFUSOR E QUEIMA	DESARME APÓS INDICAR FALHA POR QUEIMA DO DIFUSOR, QUEIMA POTENCIOMETRO PROVOCA FALTA DE VISUALIZAÇÃO DA PORCENTAGEM DE TRABALHO NO PAINEL	FALTA DE FASE
		FALHA ATUAÇÃO NO FIM DE CURSO	DESARME DO EQUIPAMENTO APÓS INDICAR FALHA	DESGASTE NATURAL
MULTIPLICADOR DE VELOCIDADE (CONJUNTO DE ENGRENAGENS)	MULTIFICAR A ROTAÇÃO	DESGASTE DO CONJUNTO DE ENGRENAGENS (MANCAL PATENTE)	VIBRAÇÃO EXCESSIVA E POSTERIOR DESARME DO EQUIPAMENTO	DEFICIÊNCIA NA LUBRIFICAÇÃO
		DESALINHAMENTO NAS ENGRENAGENS	VIBRAÇÃO EXCESSIVA E POSTERIOR DESARME DO EQUIPAMENTO	FOLGAS OU PROBLEMAS NA BASE
ÓLEO REFRIGERADOR	REFRIGERAÇÃO DO LUBRIFICANTE	INEFICIÊNCIA NA REFRIGERAÇÃO DO LUBRIFICANTE	DANIFICA COMPONENTES INTERNOS DEVIDO A ALTA TEMPERATURA DO ÓLEO (PROTEÇÃO ACIONADA - DESARME)	TROCADOR OBSTRUIDO, TEMPERATURA DA ÁGUA ENTRADA DO TROCADOR ALTA.
		FALHA NO BOMBEAMENTO DE ÓLEO	DESARME POR ATRITO EXCESSIVO	FALHA NA LUBRIFICAÇÃO, DESGASTE NATURAL
CONTROLES DE PRESSÃO E TEMPERATURA	CONTROLAR TEMPERATURA E PRESSÃO DE AR E DE ÓLEO	FALHA NA COMUNICAÇÃO - FALHA EM INSTRUMENTOS	FALHA DE COMUNICAÇÃO - INTROMPE FUNCIONAMENTO POR TEMPERATURA OU PRESSÃO DE ÓLEO INADEQUADOS	FALTA DE CALIBRAÇÃO PERIÓDICA - DESGASTE NATURAL-ROMPIMENTO DAS RESISTENCIAS PT100
MOTOR ELÉTRICO	TRANSFORMAR ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	DESGASTE PREMATURO DOS ROLAMENTOS	TRAVAMENTO DO MOTOR	LUBRIFICAÇÃO INADEQUADA
		DESBALANCEAMENTO DO ROTOR	VIBRAÇÃO ANORMAL, SOBREAQUECIMENTO	TAMPA E ROLAMENTO DANIFICADOS
		FALHA NOS ENROLAMENTOS	QUEIMA DO MOTOR	SOBREAQUECIMENTO
		PROBLEMAS NO ACIONAMENTO ELÉTRICO	PARADA REPENTINA, DESARME	MAU CONTATO, DEFEITOS EM COMPONENTES ELÉTRICOS
		VENTILAÇÃO DO MOTOR INEFICIENTE	SOBREAQUECIMENTO DO MOTOR	DESARME (PROTEÇÃO)
VÁLVULA DE ALÍVIO	PROTEGER O SISTEMA CONTRA PRESSÃO EXCESSIVA	QUEIMA DA VÁLVULA	DESARME-CONTRAFLUXO-PARADA GERAL	FALTA DE FASE-DESGASTE NATURAL-DESGASTE NATURAL
		SEDE DANIFICADA	PRESSÃO EXCESSIVA NA LINHA E DESARME	DESGASTE NATURAL
VÁLVULA ANTI-RETORNO (RETENÇÃO)	EVITAR CONTRA-FLUXO	DESGASTE DE MOLAS DA VÁLVULA	DESARME DO EQUIPAMENTO	CONTRA FLUXO

DATA DOCUMENTO: 11/07/2014		DATA REVISÃO						
EQUIPAMENTO SOPRADOR DE AR KA-100		ÍNDICES					AÇÕES DE MELHORIA	
DESCRIÇÃO	CONTROLES ATUAIS	SEVERIDADE	OCCORRÊNCIA	DETECÇÃO	RISCO	NPR	AÇÃO RECOMENDADA	AÇÃO TOMADA
MOTOR ELÉTRICO LINEAR (DIFUSOR)	NENHUM	2	1	2		4	MC	CORRETIVA
	NENHUM	2	1	2		4	MC	CORRETIVA
MOTOR ELÉTRICO LINEAR (PRÉ ROTAÇÃO)	NENHUM	2	1	2		4	MC	CORRETIVA
	NENHUM	2	1	4		8	MC	CORRETIVA
MULTIPLICADOR DE VELOCIDADE (CONJUNTO DE ENGRENAGENS)	NENHUM	4	1	2		8	MPC	CRIAÇÃO PLANO PREDITIVO: ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E ANÁLISE DE LUBRIFICANTE
	NENHUM	4	1	2		8	MPC	CRIAÇÃO PLANO PREDITIVO: ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
ÓLEO REFRIGERADOR	PREDITIVA: INSPEÇÃO	4	1	2		8	MPC	PLANO JÁ EXISTENTE
	NENHUM	3	1	1		3	MPC	CRIAÇÃO PLANO PREDITIVO: INSPEÇÃO
CONTROLES DE PRESSÃO E TEMPERATURA	NENHUM	2	3	3		18	MPT	CRIAÇÃO PLANO DE CALIBRAÇÃO MENSAL
						0	MC	
MOTOR ELÉTRICO	PLANO DE LUBRIFICAÇÃO	4	1	2		8	MPC	CRIAÇÃO PLANO PREDITIVO: ANÁLISE DE VIBRAÇÃO MENSAL
	NENHUM	4	1	2		8	MPC	CRIAÇÃO PLANO PREDITIVO: ANÁLISE DE VIBRAÇÃO
	NENHUM	4	1	4		16	MPT	CRIAÇÃO PLANO PREVENTIVO
	NENHUM	3	1	4		12	MPT	CRIAÇÃO PLANO PREVENTIVO
	NENHUM	3	1	4		12	MPT	CRIAÇÃO PLANO MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL
VÁLVULA DE ALÍVIO	PLANO PREDITIVO: INSPEÇÃO	3	1	4		12	MPT	CRIAÇÃO PLANO PREVENTIVO
	PLANO PREVENTIVO	3	1	4		12	MPT	PLANO JÁ EXISTENTE
VÁLVULA ANTI-RETORNO (RETENÇÃO)	PLANO PREVENTIVO	2	4	4		32	MM	EM ANÁLISE