

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

**ARON HENRIQUE JUNQUEIRA DOMINGUES**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE FALHAS EM  
UMA USINA SUCROALCOOLEIRA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2017**

**ARON HENRIQUE JUNQUEIRA DOMINGUES**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE FALHAS EM  
UMA USINA SUCROALCOOLEIRA**

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

Orientador: Prof. Gilberto Zammar

**PONTA GROSSA**

**2017**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE FALHAS EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA**

por

**ARON HENRIQUE JUNQUEIRA DOMINGUES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 9 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Gilberto Zammar  
Orientador

Prof. Me. Nelson Ari Canabarro de Oliveira  
Membro Titular

Prof. Dr. Oscar Régis Junior  
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares  
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de  
Carvalho  
Coordenador do Curso

## RESUMO

DOMINGUES, Aron H. J. **Implementação de um sistema de análise de falhas em uma usina sucroalcooleira.** 2017. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O foco em produtividade e o dinamismo dos eventos no cotidiano de uma usina sucroalcooleira apresentam, em suma, um cenário negativo para o entendimento detalhado das causas reais dos problemas relacionados à manutenção que a mesma pode enfrentar, fazendo com que ações corretivas sejam tomadas, mas que tais manutenções sejam recorrentes, ou até mesmo ineficientes. O presente trabalho apresenta uma sistemática de auxílio para o planejamento e controle da manutenção, com a qual se faz possível chegar às causas raízes dos eventos que afetam a disponibilidade das máquinas, aumentando assim a confiabilidade e a eficiência das mesmas, e por consequência, a produtividade da usina como um todo.

Palavras-chave: Manutenção. Análise de Falhas. Planejamento e controle da manutenção. PDCA.

## ABSTRACT

DOMINGUES, Aron H. J. **Implementation of a failure analysis method at a sugar and ethanol mill.** 2017. 53 p. Work of Conclusion Course (Graduation in Mechanical Engineering) – Federal Technology University – Paraná. Ponta Grossa, 2017.

The focus on productivity and the daily dynamic of a sugar and ethanol mill present a negative scenario for a thorough understanding of the root causes of corrective maintenance of the mill. Facing such a scenario, corrective actions are taken to solve the problems, but they might be recurring, or even inefficient. This study presents a guide to effectively implement and maintain solutions to the root causes of machines' malfunctioning, i.e.: raising the availability, reliability, and the efficiency of them, therefore increasing the mill's productivity.

Key Words: Maintenance. Root Cause Analysis. Maintenance Planning and Control. PDCA. 5 why's.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Histórico da manutenção.....	10
Figura 2 – O ciclo PDCA .....	20
Figura 3 – Diagrama de Ishikawa.....	28
Figura 4 – Diagrama de Ishikawa preenchido .....	30
Figura 5 – Relação de ordens de serviço Safra 16/17 .....	31
Figura 6 – Horas paradas por setor nos últimos 03 anos.....	36
Figura 7 – Eventos de paradas de moenda .....	37
Figura 8 – Status dos eventos de parada de moenda.....	42
Figura 9 – Status das análises realizadas .....	43
Figura 10 – Status das ações propostas .....	43
Figura 11 – Plano de ação referente à recorrente quebra de cabos guia do hilo de alimentação.....	44
Figura 12 – Surgimento de uma trinca na emenda do tubo mecânico da rosca sem fim .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores auxiliares na definição de estratégias de manutenção .....	8
Tabela 2 – Rotina de inspeção visual.....	13
Tabela 3 – Rotina de lubrificação .....	14
Tabela 4 – Troca periódica dos componentes.....	15
Tabela 5 – Tagueamento .....	17
Tabela 6 – Cadastro de equipamento .....	18
Tabela 7 – Quantificação dos itens do FMEA .....	24
Tabela 8 – Modelo de ferramenta FMEA .....	24
Tabela 9 – Simbologia para eventos .....	26
Tabela 10 – Método dos 5 por quês.....	27
Tabela 11 – Metodologia 6M.....	29
Tabela 12 - Integrantes do grupo de análise de falhas .....	33
Tabela 13 – Controle de Frequência .....	34
Tabela 14 – Disponibilidade de moenda .....	35
Tabela 15 – Média ponderada da capacidade nominal de moagem .....	35
Tabela 16 – Tempo ponderado de não moagem .....	38
Tabela 17 – Quantificação GUT .....	38
Tabela 18 – Critérios para priorização na abertura de análises de eventos.....	39
Tabela 19 – Sistemática de análise de falhas .....	40
Tabela 20 – Metodologia de análise de falhas selecionada .....	40
Tabela 21 – Placar .....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1 OBJETIVOS.....	7
1.1.1 Objetivo Geral.....	7
1.1.2 Objetivos Específicos.....	7
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL .....	8
2.1.1 Histórico da Manutenção .....	9
2.1.2 Manutenção Corretiva.....	10
2.1.3 Manutenção Preventiva .....	11
2.2 TAGUEAMENTO .....	17
2.2.1 Cadastro de Equipamentos .....	18
2.3 ORDENS DE SERVIÇO.....	18
2.4 MELHORIAS CONTÍNUAS DA PRODUÇÃO .....	19
2.4.1 PDCA .....	20
2.4.2 Análises de Causa Raiz.....	21
2.4.3 Diagrama de Ishikawa .....	28
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 A USINA SUCROALCOOLEIRA ABORDADA.....	31
3.2 QUADRO ATUAL DA MANUTENÇÃO .....	31
3.3 CRIAÇÃO DO GRUPO DE ANÁLISE DE FALHAS .....	32
3.4 DEFININDO PARÂMETROS INDICADORES DA PESQUISA .....	34
3.4.1 Disponibilidade de moenda.....	35
3.5 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE EVENTOS.....	36
3.5.1 Pré-seleção das Falhas Apresentadas .....	37
3.6 SISTEMÁTICA DE ANÁLISE DE FALHAS .....	39
3.7 MODELO APLICADO .....	40
3.8 PLACAR.....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES.....	47
5.1.1 Mudança cultural imposta .....	47
5.1.2 Efetividade das análises .....	47
5.1.3 Ferramenta de análise de causa escolhida .....	47
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em meados do século 20 o Brasil encontrou a possibilidade de derivação de um biocombustível mais sustentável ecologicamente a partir da cana de açúcar. Diante das condições climáticas e da qualidade do solo do Brasil, assim como a priorização do meio de transporte pelo método terrestre/rodoviário, esta solução se apresenta rentável e tem apresentado crescimento no Brasil desde então.

As usinas sucroalcooleiras do Brasil podem produzir desde açúcar até álcool e energia, sendo estas variações baseadas na complexidade das tecnologias apresentadas pelos equipamentos presentes nas unidades fabris em questão, e os índices de produção variam conforme a capacidade produtiva das mesmas, girando em torno de quatro mil toneladas de cana moída por safra, gerando em média trezentos e cinquenta mil metros cúbicos de Álcool Anidro e Hidratado por safra.

Diante da necessidade de manter o fluxo do processo ativo, assim como a demanda de produtividade exigida pelo quadro atual, deve-se evitar que haja interrupções no processo por quebras inesperadas dos equipamentos atuantes no processo produtivo.

Fazendo uso de ferramentas de planejamento e controle da manutenção, e buscando melhorias contínuas da produção, o desenvolvimento deste trabalho parte da premissa de implementar uma estratégia de análise de causa raiz que proporcione um maior entendimento das falhas que possam ocorrer nos mais variados equipamentos da usina, e que sejam impactantes na produção de açúcar, álcool e/ou energia elétrica. Esta sistemática abrangerá desde a criação de um grupo de análise de falhas até a adoção de uma ferramenta padrão de análise para entendimento dos eventos.

É sabido que, ao realizar uma análise de causa raiz, o grupo de manutenção age de maneira mais assertiva, tratando a causa raiz do problema apontado, e não somente uma consequência da mesma, além de diminuir a porcentagem de recorrência da falha apresentada.

Com isso, esse estudo parte da premissa de responder a seguinte questão: “Qual é o procedimento a ser seguido quando se deseja implementar um estudo das falhas que ocorrem nos equipamentos de uma usina sucroalcooleira? ”.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e aplicar uma sistemática de controle e análise de falhas em uma usina sucroalcooleira.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar um método para quantificação de eventos de parada de moenda;
- Adotar critérios para seleção de eventos que carecem de análise e maior entendimento;
- Realizar um estudo auxiliado por ferramentas de qualidade e produção para identificar as causas raízes dos problemas apontados;
- Auxiliar a tomada de ações corretivas na manutenção de uma maneira mais assertiva.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Diante do quadro de manutenção atual da empresa em questão, se faz necessário aumentar o índice de manutenção preventiva na mesma, fazendo com que o número de ações corretivas seja minimizado. O entendimento das falhas apresentadas pelos equipamentos detidos por esta empresa é crucial para que o índice de confiabilidade do processo aumente, assim como o índice de produtividade do mesmo. Logo, a criação de uma sistemática de análise de falhas serve como uma ferramenta de auxílio na reversão do quadro atual.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), “manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. ” Com isso, pode-se afirmar que a manutenção é o conjunto de atividades as quais são realizadas para manter o equipamento em questão atuando conforme foi projetado, e atualmente essas podem ser divididas em manutenções corretivas, preventivas e de detecção.

Viana (2002) apresenta fatores que auxiliam na definição das estratégias de manutenção nos equipamentos. Tais fatores, como recomendações do fabricante, segurança do trabalho e impacto no meio ambiente, característica do equipamento e fator econômico são primordiais quando se busca assertividade no processo de manutenção de equipamentos, e estão exemplificados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Fatores auxiliares na definição de estratégias de manutenção**

<b>FATORES</b>	<b>MÉTODOS</b>
Característica do Equipamento	Gravidade das falhas apresentadas e correções realizadas Tempo empregado no reparo Tempo médio entre falhas Vida mínima
Fator Econômico	Custos de material Custos de recursos humanos Impactos na produção
Recomendações do Fabricante	Manual de operação Projeto Visitas técnicas
Segurança do Trabalho e Meio Ambiente	Exigências legais para operação de equipamentos Impactos no meio ambiente

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Viana (2002)

### 2.1.1 Histórico da Manutenção

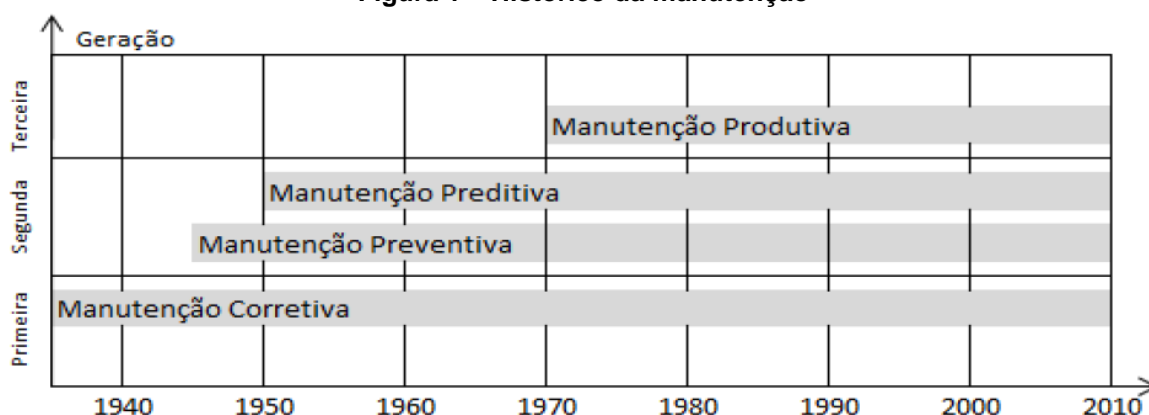
A manutenção de uma ferramenta ou equipamento sempre existiu, mesmo que de uma maneira precária. Com o passar do tempo, a manutenção começou a se tornar um ponto de atenção e estudo nos seus mais diversos campos de aplicação.

Moreira Neto (2011) afirma que no fim do século 19, com o nascimento e avanço da tecnologia das indústrias, e com a mecanização de algumas etapas do processo, fez-se necessário manter os equipamentos utilizados em funcionamento, e até 1914 a manutenção dos mesmos era realizada pelos operadores. Já de 1914 a 1930, com o cenário da primeira guerra mundial e a aplicação de um novo conceito de produção em série denominado Fordismo, as fábricas passaram a dar mais atenção à confiabilidade e manutenção dos equipamentos, criando assim equipes focadas no reparo de todo o maquinário, quando necessário, no menor tempo possível. Com isso, pode-se então detectar que houve o nascimento da Manutenção Corretiva. No cenário da segunda guerra mundial, com o foco industrial voltado exclusivamente para a produção, puderam constatar que as ações corretivas de manutenção não eram mais suficientes para manter o nível almejado de confiabilidade do maquinário, pois o tempo dedicado à ação de correção da falha, na maioria dos casos, representava um tempo de não produção. A partir dessa necessidade houve o aparecimento da Manutenção Preventiva.

Siqueira (2014) apresenta que em 1970 houve a necessidade de se criar uma gestão da manutenção que era efetuada nos equipamentos industriais, pois se via que o tempo gasto para prever e diagnosticar falhas era menor do que o tempo gasto realizando a manutenção do equipamento; com uma equipe analisando históricos e comportamentos do maquinário, houve também o surgimento da Manutenção Preditiva. Com isso houve a necessidade de criação de uma equipe responsável pela Engenharia de Manutenção, ou em outras palavras, uma equipe de Planejamento e Controle da Manutenção.

O quadro retratado na Figura 1 apresenta um cronograma do histórico da manutenção industrial.

Figura 1 – Histórico da manutenção



FONTE: Adaptado de *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação*, SIQUEIRA. 2014.

### 2.1.2 Manutenção Corretiva

A NBR 5462 (ABNT, 1994) apresenta a Manutenção corretiva como a “Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”, ou seja, a intervenção em um equipamento a fim de voltá-lo em condições de trabalho.

Silva (2011) divide a manutenção corretiva em duas, sendo elas manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada. A Manutenção corretiva não planejada é aquela realizada quando a falha no equipamento acontece de forma imprevisível, carecendo de uma ação corretiva emergencial, fazendo com que a equipe de manutenção pare suas atividades para atenderem o ocorrido. Já a manutenção corretiva planejada vem a ocorrer com certo tempo após a observação da falha. Essa observação se dá por inspeção ou mesmo durante o funcionamento do equipamento, e pode-se afirmar que esta falha não apresenta uma criticidade a ponto de parar o processo, sendo tratada assim que haja uma parada programada no processo. A eficácia na manutenção corretiva de um determinado equipamento se dá por diversos fatores, como:

- Complexidade da falha apresentada;
- Disponibilidade de peças reservas no almoxarifado;
- Qualificação técnica do grupo de manutenção;

- Gama ferramental abrangente disponível.

Cabe também à Manutenção Corretiva apresentar as informações de forma coesa, para que se faça possível levantar dados sobre análise de desempenho do maquinário industrial, assim como a frequência de repetição de determinada falha, gerando assim o índice de confiabilidade da planta.

Cunha (2005) afirma que as máquinas e componentes que mais apresentam necessidade de manutenção corretiva são os elementos rotativos, devido ao atrito gerado nos mesmos. Na maioria dos casos há a possibilidade de manutenção corretiva planejada, desde que haja um equipamento reserva para suprir a carência da linha, como por exemplo, redutores, compressores e bombas. Há também situações que se faz necessário agir corretivamente em outros equipamentos, como os que estão operando próximos ao deadline de suas vidas úteis, ou então os que apresentam uma taxa de corrosão elevada.

Silva (2011) propõe que se deve levar em conta também situações as quais falhas acontecem devido a fatores operacionais, sejam por falta de treinamento por parte dos operadores, ou por sabotagem, e nesses casos não há como trata-las de uma maneira que não seja corretivamente.

### 2.1.3 Manutenção Preventiva

Segundo a Norma Brasileira 5462, aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994), manutenção preventiva pode ser definida como uma “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

Silva (2011) apresenta a Manutenção Preventiva como uma atividade de manutenção planejada e prevista, ausente de imprevistos. Fazendo uso de históricos e informações levantadas, pode-se obter uma manutenção preventiva eficaz e de qualidade, que apresenta benefícios como:

- Redução na degradação dos equipamentos;
- Melhoria nas condições de operação do equipamento;

- Atuação antecipada gerando custos menores em decorrência do grau de danificação do equipamento;
- Eliminação ou redução da probabilidade de quebra dos equipamentos;
- Diminuição do tempo dedicado à manutenção nos equipamentos;
- Garantia de trabalho das máquinas em seus regimes de operação planejados;
- Criação de planos para conservação dos componentes tratados;
- Aumento na confiabilidade dos equipamentos;

### 2.1.3.1 Manutenção preventiva periódica sistemática

Jonge et al (2016) apresenta que a manutenção preventiva proporciona, com base nos manuais de instrução, histórico das máquinas e eficiência na produção, a possibilidade de criação de planos de manutenção com frequências pré-determinadas visando à otimização do processo. Através de checklists realizados por operadores, softwares de monitoramento, vida útil dos componentes do maquinário, análises de viscosidade e vibração, e outras ferramentas, a equipe de planejamento e controle da manutenção consegue se antecipar e programar uma intervenção na máquina antes que ela apresente uma falha, fazendo assim com que os equipamentos estejam dentro das condições aceitáveis de trabalho.

#### 2.1.3.1.1 Plano de inspeções visuais

As inspeções visuais rotineiras, apesar da simplicidade nas realizações, detêm de uma grande importância quando se visa evitar falhas nos equipamentos, segundo Viana (2002). O inspetor, ou o próprio operador podem, através dos seus sentidos sensoriais, identificar uma possível pane, e tomar os procedimentos necessários para que tal falha seja tratada. Através da observação de ruídos, condições anormais de temperatura de operação, vibração, sujeira e/ou contaminação, entre outros, pode-se identificar a necessidade de intervenção no equipamento, ou então a necessidade de estudar o caso mais a fundo e verificar se

tais comportamentos analisados estão ou não em conformidade com as faixas de operação dos equipamentos da planta.

**Tabela 2 – Rotina de inspeção visual**

Item manutenção	Texto item manutenção	Local de instalação
29705	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-100
30161	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-200-220
30162	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-200-230
30433	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-300-310
31416	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-300-320
32220	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-400
32241	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-500
32242	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-500-510
32243	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-500-550
38261	Inspeção Visual - Transformadores	XXX-500-560

**Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Viana (2002)**

#### *2.1.3.1.2 Lubrificação dos componentes dos equipamentos*

As lubrificações dos equipamentos e seus componentes são primordiais para mantê-los operando conforme foram projetados. Lubrificando-os, reduz-se o atrito entre superfícies ajustadas entre si, evitando o desgaste prematuro e o aumento de temperatura decorrente de tal atrito. Os componentes que carecem de lubrificação geralmente são engrenagens, cilindros, rolamentos, mancais, e podem ser lubrificados com o uso de óleo lubrificante ou graxa lubrificante, considerando a substância ideal para tais aplicações frente às características de operação e de concepção dos componentes tratados (BUDYMAS, 2016).

Após a identificação dos componentes a serem lubrificados, e do lubrificante ou graxa ideal para a aplicação, deve-se criar um plano de lubrificação baseando-se nos roteiros de lubrificação a serem seguidos. Esses roteiros podem ser definidos seguindo uma organização que for mais conveniente, seja por Tag, tipo de lubrificante a ser utilizado, método de aplicação, ou pelo método padrão adotado pela empresa (Viana, 2002).



Tabela 3 – Rotina de lubrificação

Nome da classe	PM_ROTA_MANUTENCAO			
Atividade	Lubrificação			
Código da rota	XXX-312			
Ponto de Medição	26885	56827	56828	56829
FREQUÊNCIA	SE	TR	TR	TR
REFERÊNCIA DO LUBRIFICANTE	LUBRAX GEAR 220	KLUBERPLEX BEM41-132	KLUBERPLEX BEM41-132	KLUBERPLEX BEM41-132
CÓD. DO LUBRIFICANTE	13616	39956	39956	39956
Item medição	INSPECIONAR NIVEL	RELUBRIFICACAO	RELUBRIFICACAO	RELUBRIFICACAO
Denominação	NL - CARTER OLEO	RL - ROLAMENTO - LA	RL - ROLAMENTO - LNA	RL - ROLAMENTO - LNA

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Viana (2002).

### 2.1.3.1.3 Calibrações, ajustes e trocas de componentes de desgaste

A realização de calibrações e ajustes com uma frequência pré-determinada nos equipamentos é essencial para mantê-los em regiões ótimas de trabalho conforme seus índices de confiabilidade, e além de calibrar os equipamentos, deve-se também calibrar os sensores e transmissores para que os mesmos apresentem valores e respostas condizentes com o real. Além disso, outra medida cabível quando se visa preservar os equipamentos tratados é a aplicação de itens de sacrifício em locais de atrito ou carência dos mesmos, e a troca destes em frequências previamente definidas. Segundo Viana (2002), “em quase todas as máquinas, existem itens de sacrifício, que são componentes feitos para desgastarem-se em prol do bom funcionamento do conjunto”. Como exemplos de componentes de desgaste, podemos levar em consideração chapas, gaxetas, escovas em um motor, correias, lonas, e outros itens.

#### 2.1.3.1.4 Itens de sacrifício

Com essa medida, é possível perceber uma economia significativa quando o assunto “troca de componentes” é abordado, já que itens de sacrifício são mais

baratos e a substituição dos mesmos não tem um impacto significativo no andamento do processo, considerando que podem ser mantidos em estoque em uma quantidade maior.

### 2.1.3.1.5 Troca periódica dos componentes

Com base em manuais de instrução, catálogos técnicos e observação de históricos de operação, a equipe de manutenção deve se atentar aos “deadlines” dos componentes que carecem de troca e/ou manutenção.

Uma maneira comum de realizar a troca periódica dos componentes é observar a carga horária de trabalho dos equipamentos, e confrontá-las com as recomendações descritas pelo fabricante do mesmo, como mostrado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Troca periódica dos componentes**

<b>TABELA DE REVISÕES PERIÓDICAS</b> <span style="float: right;">IN076</span>										
CONSULTE SEMPRE O MANUAL DE INSTRUÇÕES (ao completar essa tabela, solicite outra à Metalplan)	Marque (X) no círculo após cada troca/revisão									
<b>HORAS</b>	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
Filtro de óleo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filtro de admissão	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Filtro Plano <small>(apenas no modelo Flex DD)</small>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Separador ar/óleo		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Lubrificante ROTOR OIL EXTRA <small>(8000h ou 24 meses)</small>		<input type="radio"/>				<input type="radio"/>				<input type="radio"/>
Coalescente HI-FLUX <small>(apenas no modelo TotalPack)</small>	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	
Correias de transmissão		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Acoplamento <small>(apenas no modelo Flex DD)</small>				<input type="radio"/>				<input type="radio"/>		
Kit reparo da válvula admissão		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Kit reparo da válvula termostática				<input type="radio"/>				<input type="radio"/>		
Kit reparo da válvula de pressão mínima				<input type="radio"/>				<input type="radio"/>		
Revisão da unidade compressora										<input type="radio"/>
Lubrificação do rolamento do motor elétrico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tensionamento das correias / Respeito das conexões elétricas Limpeza dos radiadores/ Avaliação geral do compressor	<b>A CADA 500 HORAS</b>									

**Fonte: Manual de instruções Compressor de parafuso Airpower – 10~150HP, POWERPACK, 2015.**

### 2.1.3.2 Manutenção Preditiva

A NBR 5462 (ABNT, 1994) atesta que a manutenção preditiva é a “manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”.

Para Tavares (1996), a manutenção preditiva é a análise e obtenção do ponto ótimo para intervenção preventiva em um determinado equipamento, ou seja, o momento no qual o equipamento tratado passa a não apresentar uma confiabilidade almejada. De uma forma mais direta, pode-se atestar que a manutenção preditiva, através de análises, prediz e monitora as condições de operação do equipamento em um determinado momento, fazendo com que seja possível agir em um equipamento preventivamente. A determinação deste “ponto ótimo” resulta em manutenções assertivas, aumentando assim os índices de eficiência e disponibilidade dos equipamentos e do processo. A diferença da manutenção preditiva para a preventiva é que a manutenção preventiva, baseando-se na periodicidade das manutenções, não considera o regime de trabalho dos componentes dos equipamentos, item este que é levado em conta quando se deseja realizar uma manutenção preditiva em um componente. Para realização de uma manutenção preventiva, deve-se primeiramente realizar uma detecção de criticidade dos equipamentos para posterior priorização e correta seleção da análise preditiva a ser empregada, pois há variados tipos de análises preditivas conhecidas, variando em eficiência, complexidade, e aplicação, como por exemplo:

- Inspeção Visual;
- Termografia;
- Análise de vibrações;
- Análise de óleos lubrificantes;
- Espectrometria;
- Ferrografia;
- Radiografia;
- Ultrassom;
- Ensaios por líquidos penetrantes.

Além dos métodos citados acima, conferir os manuais de instrução constitui também um processo fundamental no sentido de contribuir para o êxito no processo de qualidade da manutenção preditiva, pois os mesmos apresentam as peças que devem ser trocadas (assim como a periodicidade das mesmas) dos mais variados equipamentos (PERDONÁ et al, 2017).

## 2.2 TAGUEAMENTO

O tagueamento, oriundo do Inglês Tag (etiqueta), pode ser definido como a identificação das áreas operacionais e dos equipamentos encontrados nas mesmas, assim como seus componentes. Além de facilitar no cadastro de todos os setores da planta criando um código de identificação para os mesmos, o tagueamento facilita o processo de vinculação de documentos e registros de manutenção de equipamentos aos seus devidos locais de instalação e aos equipamentos respectivos, e também no levantamento do histórico de disponibilidade e número de intervenções realizadas em cada equipamento ou área (VIANA, 2002). Uma empresa de médio ou grande porte pode realizar o processo de tagueamento baseado em níveis estruturais, como uma “árvore”. O primeiro nível destina-se às Gerências; o segundo, às suas respectivas áreas; o terceiro, aos sistemas; o quarto, aos aglutinadores; e o quinto, aos equipamentos. Tal esquema está apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5 – Tagueamento**

1º	XXX	Usina Sucroalcooleira
2º	XXX - 100	Extração do caldo
3º	XXX - 100 - 120	Moenda 37" X 78"
4º	XXX - 100 - 120 - 0010	CCM Moenda 78"
5º	24177	CCM Moenda
	26941	CCM Hilo

Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Viana (2002)

### 2.2.1 Cadastro de Equipamentos

Como pode ser observado na Tabela 5, o cadastro dos equipamentos da planta faz-se necessário para que a identificação das áreas operacionais, quando acessada no sistema, seja a mais próxima possível da realidade, pois com isso fica mais fácil entender as etapas do processo produtivo, assim como verificar quais equipamentos compõem determinadas áreas. Viana (2002) atesta que a associação de um equipamento encontrado na planta a um código faz-se através da criação de uma numeração (RG) para o mesmo. Assim como o nosso documento, esta numeração é única, e engloba todas as informações referentes a tal equipamento, como mostrado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Cadastro de equipamento**

Dados Gerais	
Classe	Válvula redutora de pressão VRP 01
Equipamento	<b>1100143</b>
Denominação	Válvula redutora de pressão VRP 01
Fabricante	Armstrong
Modelo	GP-2000
Número de Série	5701

**Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Viana (2002)**

Acima vemos que, acessando a ficha cadastral de determinado componente ou equipamento, é possível inserir, consultar ou alterar informações como o fabricante, modelo, número de série, local de instalação e até mesmo a ficha técnica do mesmo.

### 2.3 ORDENS DE SERVIÇO

Na usina abordada, a gestão das atividades realizadas nos equipamentos se dá de forma padronizada pelo Planejamento e Controle da Manutenção. A ordem de serviço é o documento que engloba as informações referentes ao equipamento que irá passar por uma determinada atividade, como:

- Local de instalação do equipamento;
- RG do equipamento;
- Caráter da ordem (Corretiva, Preventiva, Preditiva);
- Tipo de serviço (Inspeção, lubrificação, troca de componente, manutenção);
- Atividades que serão exercidas;
- Componentes requisitados para tais atividades;
- Oficinas responsáveis pelas atividades;
- Horas empregadas nas atividades.

Cabe ao Planejamento e Controle da Manutenção realizar a gestão do histórico destas ordens.

## 2.4 MELHORIAS CONTÍNUAS DA PRODUÇÃO

As melhorias contínuas da produção buscam, através de pequenos e numerosos passos, adotar uma abordagem que tenha um impacto benéfico na produção, seja em eficiência, economia, sustentabilidade, confiabilidade, ou outro indicador que seja visado. Por exemplo, através de análises a respeito da vida útil de um componente de uma determinada máquina, trocas preventivas podem ser programadas para que este componente não apresente falha e apresente danos maiores aos indicadores da produção, como disponibilidade do equipamento, eficiência, entre outros. Segundo Masaaki Imai (1986), Melhoria contínua (do termo em japonês “Kaizen”) significa “melhoramento na vida pessoal, na vida doméstica, na vida social, e na vida de trabalho. Quando aplicada para o local de trabalho, kaizen significa melhoramentos contínuos envolvendo todo mundo – administradores e trabalhadores igualmente”.

As ferramentas de melhorias contínuas da produção também servem como ferramentas auxiliares para outras metodologias. Combinando o PDCA com

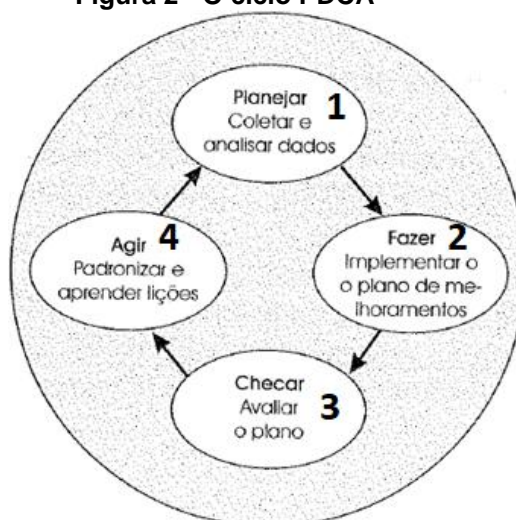
ferramentas de gestão *Balanced Scorecard*, por exemplo, Ciscato et al (2016) afirma que é possível “analisar a construção e utilização de um mapa estratégico como ação inicial para alavancagem de resultados, com ênfase especial para a necessidade de melhoria do fluxo de caixa de uma organização”, tornando esta análise mais detalhada, pois segundo Bartz e Ruppenthal (2016), “A elaboração do mapeamento de fluxo de valor é fundamental para que as organizações definam suas ações internas e externas”.

Inclusive Pugliesi et al (2016) afirma que até mesmo a sistemática de gestão ambiental das organizações, assim como a estruturação das normas ISSO 14001 e o cumprimento das mesmas pelas empresas se fazem através de métodos de melhorias contínuas, como o ciclo PDCA.

#### 2.4.1 PDCA

De acordo com Sinigaglia et al (2015), a característica de um processo sem fim se faz presente, “pois sempre que se termina um ciclo, inicia-se outro e assim prevalece um sistema de melhoria contínua”. Este ciclo do melhoramento contínuo pode ser definido fazendo uso do ciclo PDCA (do inglês Plan, Do, Check, Act) e se caracteriza pela lógica sequencial de atividades quando processos são focos de melhoria, como pode ser visto na Figura 2.

**Figura 2 - O ciclo PDCA**



**Fonte: Adaptado de Slack (2009)**

De acordo com Calôba (2016), na etapa de Planejamento, faz-se uso de coletas e análises de dados visando à criação de um plano de ação que proponha uma melhoria na questão abordada. A seguir, a etapa “Do” (ou fazer) significa implementar o que foi planejado no processo, sendo que o sucesso ou não dessa etapa será verificado pelo próximo passo, o “Check”. Por fim desse ciclo, temos a realização do estágio “Act”, ou agir, que define se a mudança foi bem aceita pelo processo, e se deve ser padronizada. Uma das vantagens da aplicação do ciclo PDCA é a repetitividade dele, ou seja, ao fim do ciclo, pode-se começar um novo visando assim à melhoria contínua do processo.

Outra vantagem observada é a diversidade de aplicações do ciclo PDCA. O mesmo pode ser utilizado tanto em situações corriqueiras do nosso cotidiano, quanto em projetos de maior complexidade. Como exemplo, pode-se aplicar o ciclo PDCA na implementação de novas melhorias, em estudos de análise de causa, na gestão de estoque, na criação de novos produtos, entre outros. De acordo com Monique et al, depois de realizada uma análise estratégica da empresa foi “possível ter uma visão global e identificar os principais problemas existentes” na mesma. Neste caso, o problema abordado foi a deficiência na gestão de estoque, e através do PDCA, foi possível desenvolver uma sistemática visando evitar faltas de determinados produtos através da realização de pedidos de forma programada conforme a quantidade dos materiais em estoque.

#### 2.4.2 Análises de Causa Raiz

De acordo com Baptista (p. 1, 2011), a “Análise de Causa Raiz ou RCA (Root Cause Analysis), acrônimo do termo em inglês bastante utilizado, é uma metodologia imprescindível para que a manutenção industrial consiga sair do danoso modo reativo”. Para que a equipe de manutenção seja eficaz nas ações realizadas ela deve ter a ciência de que o problema não se repetirá somente se a causa raiz do mesmo for tratada, e não as consequências do mesmo. Por exemplo, diante de um problema de desarme do motor elétrico, o operador ou equipe de manutenção podem-se deparar com as seguintes soluções: Reativação do motor e sequência do processo, ou entendimento do caso. A primeira opção pode parecer viável, pois retorna com o



processo em operação, mas não gera uma resposta para a seguinte questão: “Por que o motor desarmou? ”, além do fato de que o mesmo pode desarmar minutos após esta ação, ou até mesmo vir a queimar. Somente com o entendimento da falha e o conhecimento sobre a causa raiz do problema será possível sanar essa falha com exatidão. Nesse caso, após um rápido brainstorming, podem-se levantar as seguintes causas: Falha na rede de alimentação, sobrecarga enfrentada por questões operacionais, e/ou vida útil do equipamento. Logo, tratando a rede para mantê-la mais estável, realizar manobras operacionais que façam com que o motor opere em um regime de trabalho no qual o mesmo está preparado, e/ou a substituição de componentes que possam estar fora de suas vidas úteis seriam as ações apropriadas para correção do problema enfrentado.

Keith Mobley (1999) atesta que as falhas que ocorrem de maneira inesperada acarretam em uma série de incidentes indesejados, assim como em prejuízos, na maioria das vezes, consideráveis. Visando um maior entendimento das reais causas dos problemas enfrentados, assim como a eliminação da possibilidade de reincidência da falha, houve o surgimento das “análises de causa raiz”, que podem ser vistas como medidas de prevenção de falhas. Ou em outras palavras, o propósito de realizar uma análise de causa raiz é resolver problemas que afetam o desempenho da planta, e não designar o responsável pela falha estudada, como alguns podem encará-la. Essa diferença deve estar clara para todos os integrantes da equipe de análise de falhas, assim como para todos aqueles envolvidos no processo. Com isso, a equipe deve enxergar as ações levantadas como melhorias para a planta como um todo, e não medidas de caráter investigativo e punitivas para com as pessoas ou setores responsáveis pelo incidente, pois só assim será possível obter clareza nas informações adquiridas e sucesso na realização da análise.

Ammerman (1998) apresenta tais objetivos listados abaixo como prioridade para quando uma análise de causa raiz é realizada:

- Sanar as causas relacionadas a problemas que afetam o desempenho do processo;
- Eliminar as causas que não são sustentadas por dados observados no problema apontado, mas que são potenciais causadores de problemas e falhas, assim como a abrangência das mesmas.
- Selecionar causas que requerem verificação;

- Determinar causa raiz e causas que contribuíram para o problema e que necessitam de ações corretivas.

Seguindo nessa linha de raciocínio, a equipe de análise de falhas pode fazer uso de diversas ferramentas de abordagem para os problemas que possam encontrar, e algumas delas estão apresentadas abaixo.

#### 2.4.2.1 FMEA

Segundo Keith Mobley (1999), a ferramenta FMEA (do inglês: Failure mode and effects analysis), ou “análise dos modos de falhas e efeitos” (termo traduzido segundo a norma NBR 5462) é uma sequência lógica de passos usada para identificar falhas em potencial e determinar os efeitos das mesmas na performance do sistema.

Conforme proposto por Matos et al (2014), com a implementação do FMEA é possível ter uma melhoria no índice de confiabilidade dos equipamentos devido à redução de falhas dos mesmos, e também um acréscimo na lucratividade da empresa, já que a mesma apresenta um tempo de produção maior em decorrência da aplicação das melhorias apresentadas pelo FMEA.

De acordo com Certa (2017), ao adicionar o fator criticidade na análise buscando um aumento na efetividade, pode-se nomear esta ferramenta como FMECA, ou “análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade”.

Esta análise categoriza as possíveis falhas e efeitos tomando como base a probabilidade de ocorrência das mesmas, assim como suas severidades e níveis de detecção. Fazendo uso da mesma é possível “quantificar” o impacto da falha descrita e tomar ações que previnam o acontecimento da mesma. Visando uma padronização na quantificação dos índices descritos acima, Ben-Daya e Raouf (1996) apresentam os esquemas abaixo;

**Tabela 7 – Quantificação dos itens do FMEA**

Probabilidade	Chance de ocorrência	Pontuação
Remota	0	1
Baixa	1/20,000	2
	1/10,000	3
Moderada	1/2,000	4
	1/1,000	5
	1/200	6
Alta	1/100	7
	1/20	8
Muito alta	1/10	9
	1/2	10

Severidade	Pontuação
Cliente não terá ciência	1
Aborrecimento do cliente	2-3
Insatisfação do cliente	4-6
Insatisfação do cliente elevada	7-8
Não conformidade com as normas de segurança	9-10

Detectabilidade	Probabilidade (%) da falha se propagar até o cliente	Pontuação
Remota	0-5	1
Baixa	6-15	2
	16-25	3
Moderada	26-35	4
	36-45	5
	46-55	6
Alta	56-65	7
	66-75	8
Muito alta	76-85	9
	86-100	10

**Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Ben-Daya e Raouf (1996)**

Com isso, a equipe de manutenção pode se basear na Tabela 8 para colocar a ferramenta FMEA em prática.

**Tabela 8 – Modelo de ferramenta FMEA**

Equipamento	Componente	Função do componente	Modo de falha	Efeito da falha	Consequência da falha	Ocorrência	Severidade	Detectabilidade	Risco	Ação Corretiva Recomendada
						(0-10)	(0-10)	(0-10)	(O*S*D)	
Motor	Carcaça	Proteção	Fragilidade da carcaça	Trincas	Danos aos componentes internos					Troca do material da carcaça.

**Fonte: Autoria própria**





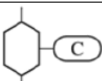












Fazendo uso dessa ferramenta a equipe de manutenção e análise de falhas pode prever e diagnosticar possíveis falhas e seus impactos que afetariam o processo direta ou indiretamente, pode também propor melhorias para os projetos tratados,

levantar informações vitais para o bom funcionamento dos equipamentos assim como levantar pontos críticos do processo e trata-los com maior atenção, aumentar a confiabilidade e segurança dos equipamentos, identificar deficiências e gargalos no processo, priorizar ações de manutenção, entre outros benefícios.

#### 2.4.2.2 Árvore de causas

Vesely et al (1981) associa o termo em inglês “Fault Tree analysis” a um método que visa analisar a confiabilidade e segurança do sistema. Com ela pode-se traçar etapas desde a falha até os fatores que possivelmente se caracterizariam como causadores do evento, assim como suas inter-relações. Visando um padrão de organização mais avançado quando a ferramenta está sendo aplicada, a equipe de análise de falhas pode adotar os símbolos mostrados abaixo.

**Tabela 9 – Simbologia para eventos**

Símbolo Gráfico	Nome	Significado	Classificação	
	OU	A saída é gerada se no mínimo uma das entradas existir	Operadores Fundamentais	
	E	A saída é gerada se todas as entradas existirem		
	OU exclusivo	A saída é gerada se uma e somente uma entrada existir	Operadores Especiais	
	Prioridade ou SE sequencial	A saída é gerada se todas as entradas existirem, com uma ordem de aparecimento.		
	SE	A saída é gerada se a entrada existir e se a condição C for verificada		
	Combinação k dado n	A saída é gerada se k dado n existir ( $1 \leq k \leq n$ )		
	Matriz	A saída é gerada para certas combinações de entradas		
	Atraso	A saída é gerada com um atraso $\Delta t$ sobre a entrada que deve estar presente durante $\Delta t$		
	Não	A saída é gerada quando a entrada não é produzida		
	Retângulo	Evento de topo ou intermediário		Eventos
	Círculo	Evento básico elementar		
	Losango	Evento básico não elementar		
	Losango duplo	Evento que é considerado básico nesta etapa e será analisado posteriormente		
	Casa	Evento considerado sendo normal		
	Transferidor idêntico	A parte da árvore que deve seguir não é indicada, uma vez que é idêntica à parte etiquetada pelo último símbolo.	Triângulos de transferência	
	Transferidor idêntico	A parte da árvore que deve seguir não é indicada, uma vez que é similar à parte etiquetada pelo último símbolo.		
	Identificação do transferidor	Marca uma sub-árvore idêntica ou similar que não é de outra maneira retomada		

Fonte: Aguiar (2012), Limnios (2007)

### 2.4.2.3 Método dos cinco por quês

Desenvolvida por Sakichi Toyoda como uma ferramenta auxiliar para o sistema Toyota de produção, o método “Cinco Por Quês” (do inglês Five Whys) é uma abordagem que visa buscar a causa raiz de um problema para que ações corretivas sejam efetivas. Com essa ferramenta é possível afirmar que para cada efeito há uma causa, mas nem sempre essa relação está clara para a equipe de manutenção. Este mecanismo fundamenta-se no questionamento de “por quês” repetidas vezes (5) para que seja feita a distinção entre o real problema dentre as consequências do mesmo. Para que se obtenha sucesso na aplicação desta ferramenta, deve-se atentar ao fato de que a primeira pergunta, ou o primeiro “por quê” seja o próprio problema, e os próximos “por quês” sejam aplicados em decorrência das respostas obtidas, como mostrado no esquema abaixo.

**Tabela 10 – Método dos 5 por quês**

<b>Hipótese</b>		As interligações dos conectores e terminais das baterias estavam em más condições (Perda de tensão devido ao mal contato).
<b>Análises dos Porquês</b>	<b>Por quê?</b>	Porque devido ao vazamento do ácido das baterias, houve uma oxidação nas interligações dos conectores e terminais.
	<b>Por quê?</b>	Porque não houve uma intervenção preventiva para correção da anomalia.
	<b>Por quê?</b>	Porque até então não havia uma sistemática de ações preventivas.
	<b>Por quê?</b>	
	<b>Por quê?</b>	
<b>Ação Corretiva</b>	Aquisição de uma ferramenta para medições da qualidade da bateria.	

**Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em Serrat (2010)**

Visando uma maior confiabilidade nas respostas obtidas com a ferramenta “cinco por quês”, a equipe deve se atentar ao fato de que as mesmas devem ser

fundamentadas com dados provados através da observação de dados, e não se tratarem somente de suposições, pois ações de correção partirão das mesmas.

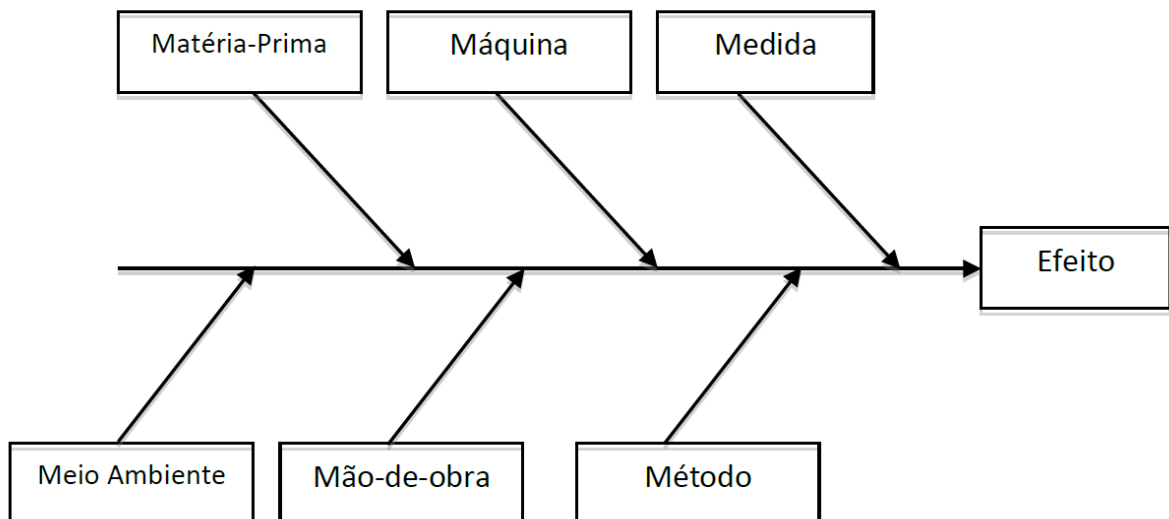
Olivier Serrat (2010) afirma que há 03 pontos de atenção quando se busca aplicar essa ferramenta efetivamente, que são:

- Identificação do problema de forma eficaz e completa;
- Honestidade do grupo para responder os “por quês”;
- Determinação para chegar à causa raiz e tratá-la.

#### 2.4.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa (também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de peixe), originalmente proposto em 1943 por Kaoru Ishikawa, é uma ferramenta esquemática que relaciona o efeito (podendo ser um problema abordado, ou uma melhoria que se deseja alcançar) com as causas levantadas, agrupando-as em “famílias” conforme abaixo.

**Figura 3 – Diagrama de Ishikawa**



Fonte: Adaptado de Campos (1992).

Segundo Kaoru Ishikawa, essas famílias podem ser categorizadas conforme a metodologia 6M, que apresenta rotulações como Matéria-prima, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Mão de obra, e Método, conforme mostrado na Tabela 11. Caso a equipe que está aplicando tal ferramenta encontre a necessidade de alterar esses grupos, a mesma é passível de alteração.

**Tabela 11 – Metodologia 6M**

<b>6M</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
MÉTODO	Instruções de trabalho, procedimentos e manuais.
MATÉRIA PRIMA	Especificações técnicas, e recomendações dos fornecedores.
MÃO DE OBRA	Capacitação, treinamento, e melhoria nas habilidades interpessoais.
MÁQUINAS	Manutenção e operabilidade.
MEDIDA	Instrumentação e certificação.
MEIO AMBIENTE	Ambientação e interatividade entre colaboradores

**Fonte: Autoria própria**

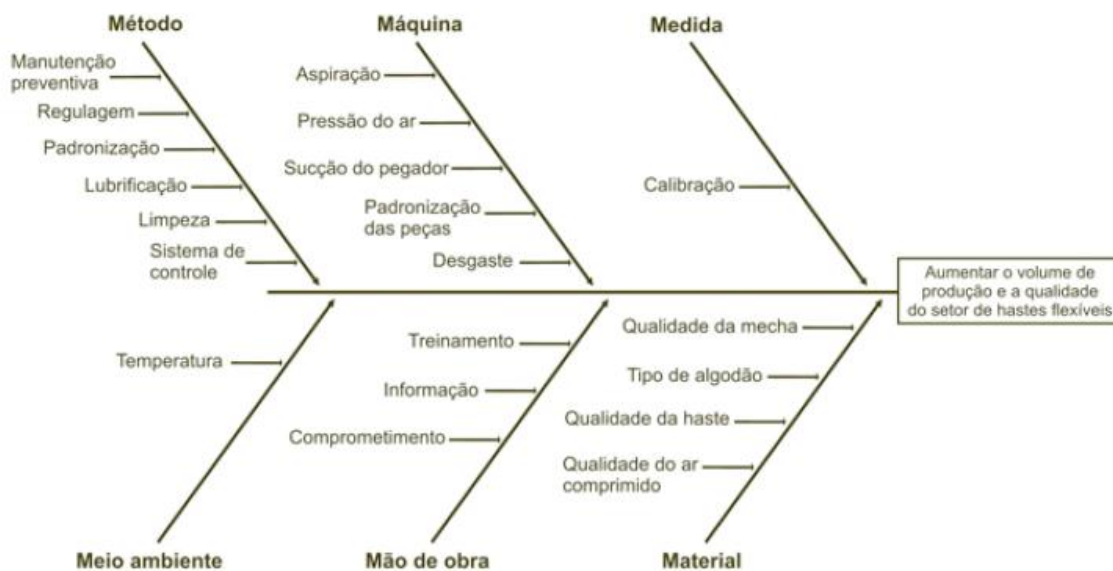
O diagrama de Ishikawa pode ser utilizado para apresentar as possíveis causas da falha apresentada (ou da meta desejada) e suas relações, e deve seguir os seguintes critérios, segundo Slack (2009):

- Utilizar um diagrama por efeito;
- Certificar que o diagrama esteja claro e apresentável para os membros da equipe;
- Manter em mente que as causas podem ser alteradas conforme andamento da análise;
- Basear os argumentos apresentados em dados observados.



O uso do diagrama de Ishikawa favorece a aplicação de um brainstorming pelos integrantes do grupo de análise de falhas para que a análise detenha um grau de detalhamento maior, e mais confiável; essa ferramenta também facilita a identificação da relação entre as causas com a meta visada, como mostrado abaixo.

**Figura 4 – Diagrama de Ishikawa preenchido**



Fonte: Adaptado de Cesconeto et al (2014)

### 3 METODOLOGIA

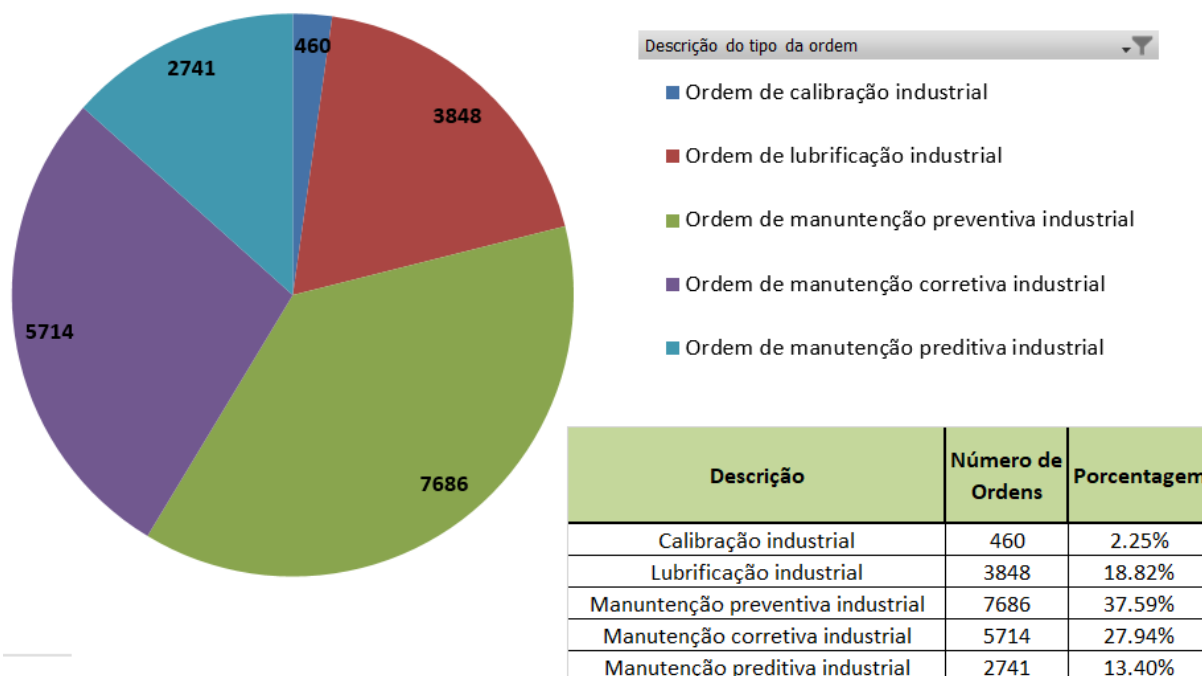
#### 3.1 A USINA SUCROALCOOLEIRA ABORDADA

A usina de cana de açúcar na qual esse estudo se baseia apresenta uma produção diária de aproximadamente 33 mil sacos de açúcar de 50 kg e mil metros cúbicos de etanol. Com metas diárias de produção, é fácil perceber a importância de manter todas as máquinas e seus componentes em perfeito estado de funcionamento, pois uma simples ocorrência que não seja previamente conhecida pode ocasionar uma parada no processo, seja na moagem de cana, ou na obtenção do produto final.

#### 3.2 QUADRO ATUAL DA MANUTENÇÃO

Na Figura 5, é possível analisar o quadro de manutenção da usina tratada no período de atividade da safra 16/17, que vai do dia 01/04/2016 até o dia 31/03/2017.

**Figura 5 – Relação de ordens de serviço Safra 16/17**



Fonte: Estudo de caso (2017)

Diante desse quadro é possível afirmar que 28% das ordens de serviço abertas pelo planejamento e controle da manutenção são de caráter corretivo, 59% são de caráter preventivo, e 13% apresentam caráter preditivo.

### 3.3 CRIAÇÃO DO GRUPO DE ANÁLISE DE FALHAS

Considerando o quadro atual da manutenção na usina, no qual 28% das intervenções nos equipamentos são de caráter corretivo conforme visto acima, enxerga-se a necessidade de implementação de medidas as quais aumentem a confiabilidade e efetividade dos equipamentos e das manutenções realizadas nos mesmos, diminuindo cada vez mais o número de intervenções corretivas para que o processo seja afetado cada vez menos.

Diante dessa oportunidade, houve o surgimento do grupo de análise de falhas. Buscando diminuir o número de ações corretivas empregadas, o grupo deve manter em mente que precisa estar sempre um passo à frente do processo produtivo, visando à eliminação da causa raiz e a recorrência dos problemas enfrentados pela produção, assim como a efetividade das ações de melhoria propostas.

Com a meta traçada, faz-se necessário definir os integrantes de tal grupo. Essa etapa é primordial para o sucesso do grupo de análise de falhas, pois todos os integrantes devem entender suas funções dentro do mesmo. Buscando uma maior abrangência no brainstorming das possíveis causas dos problemas enfrentados, é interessante que integrantes de diversas áreas participem do grupo como representantes de suas oficinas, como pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12 - Integrantes do grupo de análise de falhas

<b>Convocados</b>	
<b>Obrigatórios</b>	Analista de planejamento de manutenção
	Analista de engenharia - Caldeiraria
	Analista de engenharia - Elétrica e Automação
	Analista de engenharia - Mecânica
<b>Substitutos</b>	Cada analista citado acima deve designar um substituto para comparecer as reuniões em caso de ausência.
<b>Sob demanda</b>	Técnico - Caldeiraria
	Técnico - Elétrica e Automação
	Técnico - Mecânica
	Supervisor - Moenda
	Supervisor - Fábrica de Açúcar
	Supervisor - Destilaria
	Supervisor - Utilidades
<b>Opcionais</b>	Supervisor - Mecânica, Elétrica e Automação
	Supervisor - Caldeiraria
	Supervisor - PCM
	Coordenador - Manutenção

Fonte: Estudo de caso (2017)

Com a equipe definida, o próximo passo é definir a frequência dos encontros ou reuniões que a equipe realizará para que a mesma se enraíze na cultura da empresa. Essas reuniões podem acontecer semanalmente, mensalmente ou quinzenalmente, sendo que a efetividade das mesmas é inversamente proporcional ao tempo de espera entre uma reunião e outra.

Tabela 13 – Controle de Frequência

CONTROLE DE FREQUÊNCIA					Índice de presença por integrante		
					Presente	Ausente	Porcentagem de frequência
Convocados		07/03/17	09/03/17	14/03/17			
Obrigatórios	Analista de planejamento de manutenção	Presente	Presente	Presente	3	0	100,00%
	Analista de Engenharia - Caldeiraria	Presente	Presente	Ausente	2	1	66,67%
	Analista de Engenharia - Elétrica e Automação	Presente	Ausente	Ausente	1	2	33,33%
	Analista de Engenharia - Mecânica	Ausente	Ausente	Ausente	0	3	0,00%
Substitutos	Substituto Analista PCM	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Substituto Analista Caldeiraria	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Substituto Analista Elétrica e Automação	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Substituto Analista Mecânica	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
Sob demanda	Técnico - Caldeiraria	Não Conv.	Presente	Não Conv.	1	0	100,00%
	Técnico - Elétrica e Automação	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Técnico - Mecânica	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Supervisor - Moenda	Não Conv.	Não Conv.	Presente	1	0	100,00%
	Supervisor - Fábrica de Açúcar	Não Conv.	Não Conv.	Não Conv.	0	0	0,00%
	Supervisor - Destilaria	Não Conv.	Presente	Não Conv.	1	0	100,00%
Opcionais	Supervisor - Utilidades	Presente	Não Conv.	Não Conv.	1	0	100,00%
	Supervisor - Mecânica, Elétrica e Automação	Presente	Convocado	Convocado	1	0	100,00%
	Supervisor - Caldeiraria	Convocado	Presente	Convocado	1	0	100,00%
	Supervisor - PCM	Convocado	Presente	Convocado	1	0	100,00%
	Coordenador - Manutenção	Convocado	Convocado	Presente	1	0	100,00%
Índice de presença por reunião		5	6	3	Data de hoje		
Índice de ausência por reunião		1	2	3	09/03/2017		

Fonte: Estudo de caso (2017)

### 3.4 DEFININDO PARÂMETROS INDICADORES DA PESQUISA

Para um maior controle do processo e da qualidade, as empresas adotam indicadores que tornam possíveis a quantificação do desempenho das mesmas quando comparadas internamente ou externamente com outras indústrias do mesmo segmento. As empresas apresentam os mais variados indicadores, como por exemplo, indicadores comerciais (preço de venda do açúcar), de processo (eficiência na fabricação de açúcar), de manutenção (disponibilidade da moenda), entre outros. Estes parâmetros podem ser adotados conforme as necessidades das empresas, e traçam não só as metas a serem alcançadas, mas também o histórico comportamental da empresa naqueles segmentos.

Tomando como “norte” um indicador usado pela empresa, o grupo de análise de falhas pode trabalhar visando à melhoria do mesmo, garantindo assim que todos da equipe “remem na mesma direção”. Considerando a produtividade diária de uma usina de açúcar e álcool, assim como as etapas do processo produtivo e a criticidade

das mesmas, o grupo de análise de falhas pode considerar o indicador “disponibilidade de moenda” como um parâmetro a ser analisado.

### 3.4.1 Disponibilidade de moenda

Adotando como base a produção nominal da moenda, ou seja, a quantidade máxima em toneladas de cana que pode ser moída diariamente considerando efetividade máxima no processo, o indicador “disponibilidade de moenda” quantifica, em uma escala de 0 a 100%, o quanto foi moído (em toneladas) por dia através de uma simples equação matemática. Em outras palavras, este parâmetro relaciona a quantidade de horas as quais a moenda esteve em total funcionamento, com a capacidade de moagem da mesma, conforme exemplificado na Tabela 14.

**Tabela 14 – Disponibilidade de moenda**

CAPACIDADE MOENDA 54" (t)	CAPACIDADE MOENDA 78" (t)	CAPACIDADE TOTAL (t)	HORAS (h)	DISPONIBILIDADE DE MOENDA (%)
7350	14250	21600	24	100
A	B	X	Y	Z

Fonte: Estudo de caso (2017)

Acima podemos ver que a extração do caldo da cana de açúcar na usina tratada por este trabalho é realizada por duas moendas. Pode-se constatar também que a moenda 78" apresenta uma capacidade nominal superior à moenda 54". Com isso, há uma ponderação a ser realizada quando o fator “parada de moenda” é levado em conta. Por exemplo, se houver uma falha mecânica que afete as duas moendas a ponto de pará-las, a quantidade não moída de cana segue a proporção apresentada na Tabela 15.

**Tabela 15 – Média ponderada da capacidade nominal de moagem**

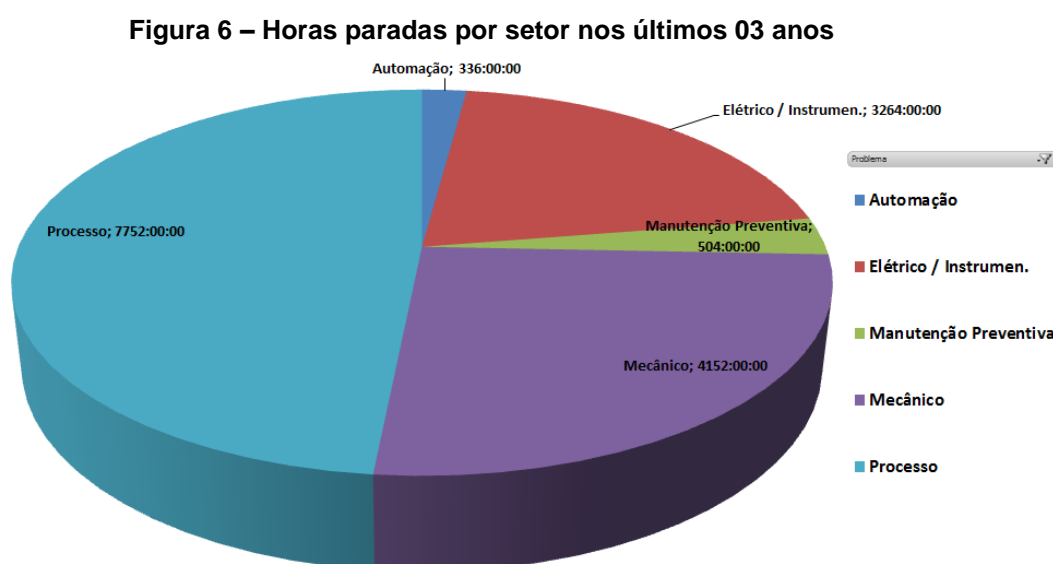
CAPACIDADE MOENDA 54" (%)	CAPACIDADE MOENDA 78" (%)	CAPACIDADE TOTAL (t)
33	66	100

Fonte: Estudo de caso (2017)

Logo, com essa ponderação, uma falha que afete a disponibilidade da moenda 78” tem um impacto muito maior no processo do que uma falha que afete a moenda 54”, e deve ser tratada com maior rapidez.

### 3.5 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE EVENTOS

Após a definição do indicador “disponibilidade de moenda” como foco para o grupo de análise de falhas, a próxima etapa é definir quais falhas, das que afetam tal indicador, serão tratadas em primeira instância, se não todas as ocorrências. Na Figura 6 pode-se verificar um a quantidade de horas paradas por setor nos últimos três anos.



Fonte: Estudo de caso (2017)

Tais eventos são apontados em um portal disponível no sistema adotado pela usina estudada. Os apontamentos de parada de moenda no sistema devem ser padronizados e realizados pelo mínimo de pessoas possível, para que os critérios para julgamento das paradas seja sempre o mesmo. Cabe à equipe de análise de falhas designar responsáveis pelos apontamentos de ocorrências que afetam as moendas. Na usina tratada, o grupo de análise de falhas optou por designar a função de realizar tais apontamentos pelos técnicos de cada área da usina. Em grande parte de seus turnos, os técnicos se encontram alocados no CECO (ou centro de

controladoria Industrial), e tem acesso em tempo real aos parâmetros de operação e ao status de todo o processo de fabricação do açúcar e álcool. Com isso, eles devem ser os primeiros a serem informados sobre qualquer anormalidade sofrida no processo e tomar ações para que o processo seja estabilizado o mais rápido possível.

Após definidos os responsáveis pelos apontamentos de falhas, a disposição das informações observadas deve ser feita de maneira padronizada e estruturada conforme as necessidades enxergadas pelos analistas responsáveis por tal estudo.

Tendo padronizado os responsáveis pelos apontamentos de parada de moenda, assim como a maneira a qual essa informação é disposta, o status do indicador “disponibilidade de moenda” e as falhas que o afetam se apresentam conforme a Figura 7.

**Figura 7 – Eventos de paradas de moenda**

Equipamento	Data Início	Data Fim	Hora parada	Departamento	Problema	Razão 1	Razão 2
01.1.b Moenda 78	07/04/2015 19:13:00	07/04/2015 20:20:00	1:07:00	Extração	Mecânico	Esteira de Lona	Ajuste/Manutenção
01.1.b Moenda 78	07/04/2015 20:26:00	07/04/2015 21:17:00	00:51:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Peneira Rotativa	Problema no Acionamento Elétrico
01.1.b Moenda 78	08/04/2015 09:03:50	08/04/2015 09:35:00	0:31:10	Extração	Mecânico	Esteira de Lona	Ajuste/Manutenção
01.1.b Moenda 78	09/04/2015 09:57:00	09/04/2015 10:19:00	00:22:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Esteira de Lona	Sensores
01.1.b Moenda 78	09/04/2015 10:19:00	09/04/2015 10:38:00	0:19:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Inversor de Frequência	Desregulagem
01.1.b Moenda 78	09/04/2015 11:00:00	09/04/2015 11:25:00	00:25:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Inversor de Frequência	Desregulagem
01.1.b Moenda 78	09/04/2015 11:26:00	09/04/2015 13:33:00	2:07:00	Fabricação de Açúcar	Mecânico	Bombeamento de Caldo	Vazamento de Caldo
01.1.b Moenda 78	09/04/2015 15:57:00	09/04/2015 16:13:00	00:16:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Esteira de Lona	Sensores
01.1.a Moenda 54	10/04/2015 09:32:00	10/04/2015 10:29:00	0:57:00	Extração	Mecânico	Temos	Ajuste/Manutenção
01.1.b Moenda 78	10/04/2015 10:08:00	10/04/2015 10:40:00	00:32:00	Extração	Mecânico	Hilo Alimentação	Quebra de Cabo
01.1.b Moenda 78	10/04/2015 10:48:00	10/04/2015 11:16:00	0:28:00	Extração	Elétrico / Instrumen.	Inversor de Frequência	Desregulagem
01.1.b Moenda 78	11/04/2015 00:30:00	11/04/2015 00:50:00	00:20:00	Extração	Mecânico	Esteira de Lona	Desalinhamento

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

### 3.5.1 Pré-seleção das Falhas Apresentadas

Tendo em vista a quantidade de horas de produção reduzida ou inexistente, e a etapa na qual o grupo se encontra, faz-se necessário adotar critérios para pré-seleção dos eventos que serão tratados. Caso isso não seja feito, o grupo de análise de falhas corre o risco de não conseguir observar todos os detalhes pertinentes às falhas apresentadas, ou então de não conseguir cumprir as análises no tempo proposto. Como o indicador abordado é a “disponibilidade de moenda”, é fácil perceber que as falhas que devem ser estudadas mais detalhadamente são as que mais impactam o processo produtivo, ou seja, as falhas que apresentam maior tempo de não moagem. Como visto anteriormente, há a necessidade de se realizar uma ponderação tendo em vista a capacidade nominal das moendas apresentadas, logo,



o grupo de análise de falhas pode-se basear no critério abaixo para seleção de eventos a serem estudados.

**Tabela 16 – Tempo ponderado de não moagem**

Equipamento	Data Início	Data Fim	Duração ponderada (h)	Moagem perdida (t.)	Departamento	Problema	Razão 1	Razão 2
01.1.b Moenda 78	15/03/2016 15:03:00	15/03/2016 15:14:00	0,12	108	Geração e Distr. Vapor e Água	Elétrico / Instrumen.	Transportador de Bagaço	Sensores
01.1.a Moenda 54	23/03/2016 18:11:00	23/03/2016 18:52:00	0,23	204	Geração e Distr. Vapor e Água	Elétrico / Instrumen.	Caldeiras/Bomba Alimentação	Desarme Disjuntor
01.1.b Moenda 78	13/04/2016 04:35:00	13/04/2016 06:00:00	0,95	852	Geração e Distr. Vapor e Água	Elétrico / Instrumen.	Caldeiras/Bomba Alimentação	Aquecimento de Cabo
01.1.b Moenda 78	19/04/2016 07:41:00	20/04/2016 01:26:00	11,83	10650	Geração e Distr. Vapor e Água	Mecânico	Rede de Vapor	Rompimento da Tubulação

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

Além do tempo de não moagem, outra ferramenta que pode ser utilizada quando se visa priorização de estratégias é a matriz “GUT”, uma abreviação para “Gravidade, Urgência e Tendência”.

Segundo MILAN et al, a matriz GUT tem por objetivo apresentar soluções para as inadequações e problemas enfrentados quantificando, em uma escala de zero a cinco, o quanto uma falha/quebra de componente é grave, urgente e tendenciosa, como mostrado na Tabela 17.

**Tabela 17 – Quantificação GUT**

Importância máxima = $G \times U \times T = 125$				
Critério	Denominação	Escala		Definição
G	Gravidade	0 - pouco grave	5 - gravíssimo	Leva em conta o possível dano causado pela falha abordada.
U	Urgência	0 - sem urgência	5 - urgente	Apresenta a urgência com a qual a falha deve ser tratada.
T	Tendência	0 - não irá piorar	5 - irá piorar	Quantifica o potencial de crescimento do problema apresentado.

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

Através de uma multiplicação dos critérios do GUT, facilmente é possível detectar que o evento a ser priorizado é aquele que apresenta o maior índice.

Outro fator que deve ser posto na balança é a recorrência das falhas apresentadas. Muitas vezes o impacto de uma parada não programada devido a um evento randômico não excede o critério de tempo mínimo pré-estabelecido, ou seja, não supera meia hora de não moagem, e também não apresenta uma posição

considerável no ranking feito pela matriz GUT, mas o mesmo tem uma recorrência elevada. Observando e tratando a causa raiz dos mesmos faria com que suas repetitividades diminuíssem.

Diante de tais possibilidades, o grupo de análise de falhas decidiu adotar os seguintes critérios.

**Tabela 18 – Critérios para priorização na abertura de análises de eventos**

Tipo de análise
Para paradas nas quais o tempo ponderado da não moagem for superior à 30 minutos, realizar análise levando em conta o total de horas paradas para priorização do evento.
Para paradas nas quais o tempo ponderado da não moagem for inferior à 30 minutos, realizar análise levando em consideração a nota total do GUT para priorização do evento.
Para análises sob demanda, fazer uso do modelo detalhado levando em consideração a ordem de priorização de acordo com a nota total do GUT.

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

### 3.6 SISTEMÁTICA DE ANÁLISE DE FALHAS

Após determinados os critérios para seleção dos eventos de paradas não previstas que serão estudados pelo grupo de análise de falhas, o próximo passo é definir a metodologia que será aplicada em tal estudo. Diante de uma infinidade de métodos de análise e solução de problemas e da complexidade dos mesmos, cabe à equipe de manutenção definir quais ferramentas serão aplicadas para entendimento das falhas do processo que ocorrem de maneiras imprevisíveis.

É importante ressaltar que o conhecimento sobre as etapas da metodologia aplicada deve estar enraizado em todos os integrantes do grupo, fazendo então com que todo o tempo disponível seja aplicado no entendimento do caso tratado, e não da ferramenta ou do modelo de análise utilizados.

Para implementação de uma sistemática de análise de falhas partindo do zero, como no caso proposto neste trabalho, é sábio afirmar que a ferramenta de análise de falha escolhida deve apresentar um grau de complexidade relativamente baixo, e ser aprimorado conforme o andamento da equipe, ou então o grupo pode ter problemas em relação ao cumprimento dos prazos e à obtenção de detalhes sobre os casos tratados.

Com isso, e depois de selecionada a falha apontada que será tratada, o grupo pode aplicar conhecimentos de ferramentas de gestão (como o PDCA) para buscar a solução da mesma. O PDCA propõe, através de uma melhoria contínua, o entendimento e melhoria das falhas que o processo pode sofrer. Em conjunto com uma ferramenta de Análise de Causa Raiz (como a ferramenta “cinco por quês”), o PDCA pode então se tornar um modelo padrão de análise de falhas.

### 3.7 MODELO APLICADO

Fundamentando-se nos passos apresentados no esquema abaixo, a equipe pode desenvolver e adotar um padrão para a sistemática de análise de falhas, facilitando assim a organização dos dados observados e o andamento do estudo sobre cada falha apontada.

**Tabela 19 – Sistemática de análise de falhas**

<b>1º</b>	Apontamento da falha apresentada
<b>2º</b>	Metodologia de melhorias contínuas da produção e ferramentas de análise de causa raiz
<b>3º</b>	Levantamento de ações tratativas
<b>4º</b>	Acompanhamento dos status das ações propostas

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

Depois de obtido um consenso entre os membros do grupo de análise de falhas da usina em questão, a metodologia definida como padrão segue os procedimentos apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 – Metodologia de análise de falhas selecionada**

<b>P</b>	<b>1º</b>	Apontamento da falha apresentada
	<b>2º</b>	Levantamento de possíveis causas
	<b>3º</b>	Comprovação de consistência das hipóteses
	<b>4º</b>	Adoção de uma ferramenta de análise de causa raiz como padrão (5 por quês)
	<b>5º</b>	Levantamento de ações tratativas
<b>D</b>	<b>6º</b>	Implementação das ações tratativas
<b>C</b>	<b>7º</b>	Estudo da abrangência das ações tratativas
	<b>8º</b>	Definição de prazos e responsáveis pelo cumprimento das ações levantadas
<b>A</b>	<b>9º</b>	Acompanhamento dos prazos e da efetividade das ações propostas

**Fonte: Estudo de caso (2017)**

### 3.8 PLACAR

Considerando a quantidade de falhas apontadas durante o processo produtivo, assim como o número de ações tratativas propostas para cada caso, faz-se necessário realizar uma gestão de todos estes dados de forma padronizada para garantir que as ações propostas sejam realizadas dentro dos prazos estipulados para as mesmas. Uma boa alternativa para auxiliar essa etapa é a criação de um “placar” que apresente o status das análises e das ações tratativas aguardando serem executadas e/ou já realizadas. Partindo deste princípio, a equipe de análise de falhas pode se basear no seguinte exemplo para tal controle.

**Tabela 21 – Placar**

Evento	Descrição	Análise	Ação	Status	Responsável
78	Análise	Quebra da corrente da mesa alimentadora moenda 54”.		Concluído - no prazo	Grupo - Tratamento de falhas
78.2	Ação	Quebra da corrente da mesa alimentadora moenda 54”	Criação de um plano de limpeza para as partes inferiores da mesa alimentadora.	Em andamento - faltam 43 dias	X
78.3	Ação	Quebra da corrente da mesa alimentadora moenda 54”	Inspeção das correntes será inserida na listagem de ações preventivas.	Em andamento - faltam 12 dias	Y
78.4	Ação	Quebra da corrente da mesa alimentadora moenda 54”	Criação de um plano de inspeção / manutenção, com tensionamento caso necessário.	Em andamento - faltam 12 dias	Z

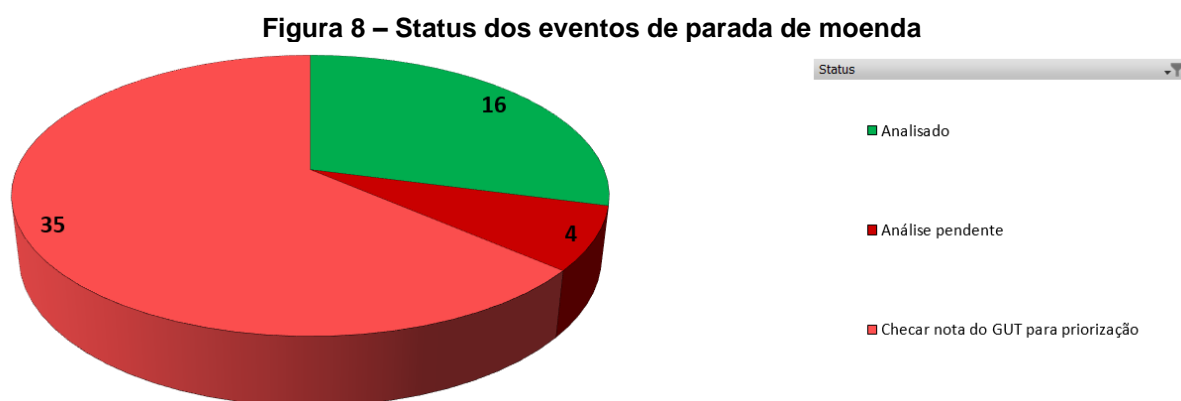
**Fonte: Estudo de caso (2017)**

Fazendo uso de tal modelo, a equipe de análise de falhas pode realizar um acompanhamento diário dos deadlines das ações de forma mais detalhada. É prudente relacionar também as ações tratativas propostas com os responsáveis pelas mesmas, caso seja necessário realizar um levantamento de dados sobre tal assunto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes da criação do grupo, a maioria das intervenções em decorrência das falhas sofridas pelos equipamentos era realizada de forma não padronizada, e na maioria dos casos, de caráter corretivo. Em outras palavras, manutenções ou trocas de componentes eram efetuadas visando somente à continuidade do processo, e não o entendimento da causa raiz do problema. Empregando a metodologia apresentada na Tabela 20, a equipe conseguiu desenvolver uma sistemática que padronize a análise e a prevenção das falhas que afetam a disponibilidade do setor “moenda” na usina em questão.

Esta metodologia foi colocada em prática em julho de 2016, e os dados referentes às análises até o fim deste mesmo ano podem ser observados na Figura 8.

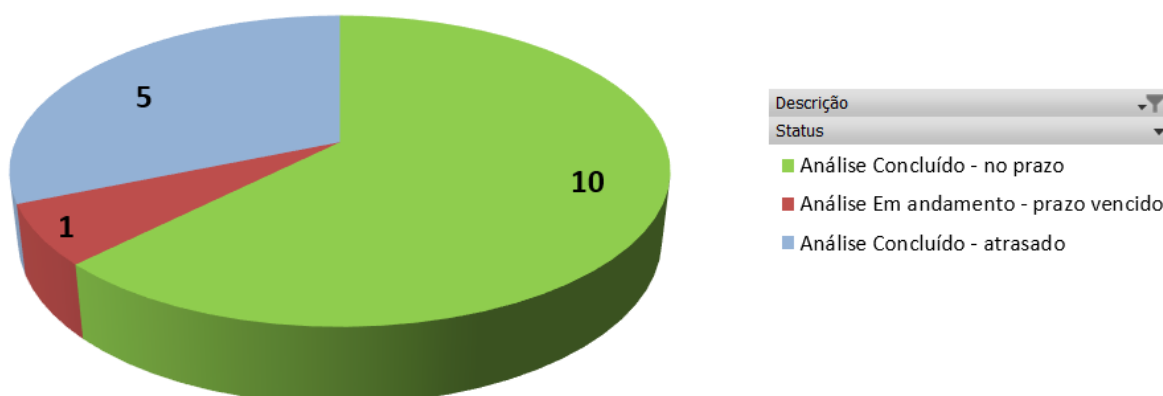


Fonte: Estudo de caso (2017)

É fácil visualizar que de todos os eventos que careciam de análise obrigatória, ou seja, daqueles que acarretaram mais de meia hora de parada de moenda, somente um não foi analisado. Pode-se detectar também que através da priorização realizada pela matriz GUT, 37 eventos tiveram suas necessidades de análise ranqueadas, conforme consenso do grupo de análise de falhas, e dois destes foram analisados.

Diante do dinamismo apresentado no cotidiano da usina, assim como na quantidade de paradas de processo por indisponibilidade de moenda, a equipe em questão deve se atentar aos prazos estipulados para cumprimento das análises necessárias. Na Figura 9, é possível identificar quantas análises foram realizadas dentro do prazo limite, e quantas análises foram concluídas em atraso.

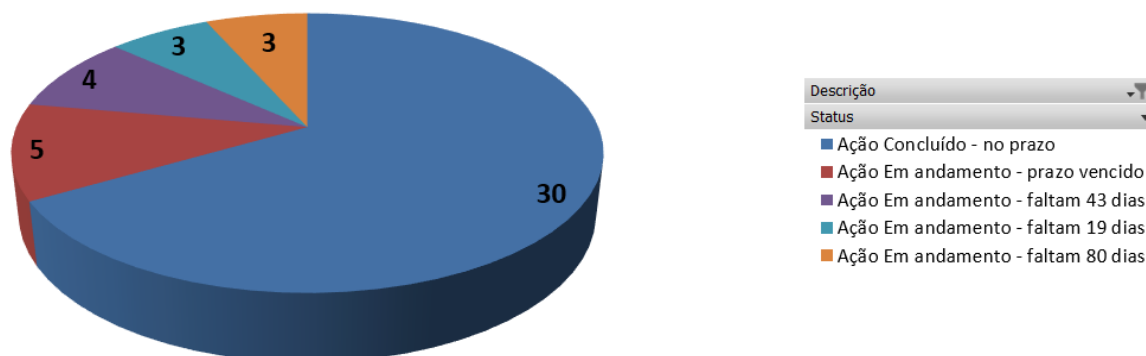
**Figura 9 – Status das análises realizadas**



Fonte: Estudo de caso (2017)

A partir de tais análises, foram sugeridas ações tratativas para as causas raízes apontadas. Assim como as análises, as tratativas devem ser realizadas dentro do prazo estipulado, e cabe à equipe de análise de falhas certificar o devido cumprimento das mesmas. A quantificação das ações tratativas propostas, realizadas ou pendentes, está apresentada na Figura 10.

**Figura 10 – Status das ações propostas**



Fonte: Estudo de caso (2017)

Diante deste quadro é possível afirmar que onze por cento das ações tratativas propostas sofreram algum tipo de interferência que ocasionaram o não cumprimento das mesmas, e tais casos devem ser acompanhados e entendidos para que sejam devidamente empregados, levando em conta os atrasos respectivos; é fácil detectar também que mais da metade das ações tratativas levantadas foram realizadas.

Para exemplificação, é plausível analisar os casos apresentados nas Figura 11 e Figura 12 abaixo.

**Figura 11 – Plano de ação referente à recorrente quebra de cabos guia do hilo de alimentação**



**Fonte: Estudo de caso (2017)**

A partir da análise foram detectados diversos fatores que poderiam estar causando o rompimento dos cabos guia do hilo de alimentação de maneira acelerada quando considerado o tempo de vida útil do mesmo. Com a sistemática implantada, ações tratativas foram levantadas e aplicadas visando à correção das mesmas, como, por exemplo, a criação de uma instrução de trabalho para o operador do guindaste, assim como a inserção dos componentes do hilo no plano de lubrificação periódica.

Na Figura 12 está apresentado o estudo sobre uma falha mecânica que resultou uma parada de moagem por uma hora e meia.

**Figura 12 – Surgimento de uma trinca na emenda do tubo mecânico da rosca sem fim**



Fonte: Estudo de caso (2017)

Neste caso a equipe de análise de falhas teve problemas em relação ao andamento deste estudo devido à alta demanda enfrentada pelos integrantes do grupo sobre assuntos não relacionados à sistemática de análise de falhas, fazendo com que as reuniões fossem deixadas de lado. Além disso, pode se detectar certa dificuldade em coletar informações devido a uma divergência no cadastro do equipamento no sistema.



## 5 CONCLUSÃO

Com posse das informações apresentadas acima, pode-se afirmar que esta sistemática de análise de falhas apresenta-se como uma melhoria significativa no planejamento e controle da manutenção. Em uma usina a qual a maioria das ações é de caráter corretivo e instantâneo, o entendimento das falhas apresentadas e a busca por sanar as causas raízes destas falhas é crucial para o aumento da disponibilidade dos equipamentos. Com a implementação desta sistemática, foram analisados 16 eventos, dando surgimento a 45 ações tratativas. Quando comparados aos anos anteriores, nos quais não havia uma sistemática de análise de falhas, estes números são surpreendentes. Diante deste cenário, se pode afirmar que a inserção desta sistemática apresentou resultados significantes, embora ações propostas ainda se mostrem pendentes e/ou atrasadas durante o período analisado. Logo, como meta para os próximos anos, o grupo pode manter como foco o aumento da disponibilidade da moenda fazendo com que 100% dos eventos de parada de moenda sejam estudados e posteriormente tratados.

É aconselhável, em paralelo à implementação desta sistemática, realizar apresentações para os outros colaboradores e para a alta gerência sobre a finalidade deste grupo, sua composição, sua demanda e principalmente as ações propostas. Com isso, colaboradores não relacionados ao grupo de análise de falhas passam a dar mais credibilidade ao serviço realizado, tornando o emprego desta mudança cultural e a aplicação das tratativas propostas mais fáceis.

Fazendo com que colaboradores de diversas áreas “comprem” a ideia do grupo, o brainstorming inicial -sobre as possíveis causas da falha enfrentada- se torna mais confiável, pois o objetivo do grupo estará claro para todos os colaboradores. Além disso, as apresentações realizadas para níveis hierárquicos elevados auxiliarão o grupo, pois há ações tratativas levantadas que carecem de aprovação e designação de responsáveis por pessoas que apresentam cargos superiores, como supervisores, coordenadores e gerentes.

## 5.1 RECOMENDAÇÕES

### 5.1.1 Mudança cultural imposta

A implementação desta cultura de análise de falhas pode enfrentar algumas barreiras, dependendo da aceitação da mesma pelos colaboradores da empresa. É essencial que a ideologia proposta seja fundamentada e tenha apoio de pessoas responsáveis pelos diversos setores da empresa, como por exemplo, coordenadores e supervisores da manutenção, processo e utilidades. Como a demanda cotidiana é elevada, os integrantes do grupo podem se enxergar em situações as quais devem realizar uma priorização das atividades a serem exercidas, e dependendo do posicionamento de seus superiores em relação a isso, as atividades relacionadas à análise de falhas podem ser deixadas de lado, afinal o feedback obtido com a implementação de ações tratativas é demorado, considerando que tais ações são realizadas visando retorno a longo prazo, como por exemplo, o aumento da confiabilidade de algum equipamento. Muitas vezes um integrante do grupo pode priorizar seu tempo focando em uma atividade que não seja relacionada à análise de falhas, cabendo então ao gestor de tal colaborador realizar uma gestão do tempo disponível de sua equipe para que a equipe de análise de falhas seja efetiva.

### 5.1.2 Efetividade das análises

Como a maioria das tratativas propostas são de longo prazo, considera-se prudente comparar o indicador disponibilidade de moenda do ano de 2016 com os próximos anos para verificar a eficiência das análises realizadas.

### 5.1.3 Ferramenta de análise de causa escolhida

Assumindo que até então não havia uma devida atenção empregada no entendimento das falhas sofridas, o grupo de análise de falhas deve propor uma sistemática que seja simples e eficaz. A escolha da ferramenta “5 por quês” foi tomada

levando em conta tais condições, mas o nível de complexidade e efetividade da mesma deixa a desejar. Nos casos em que a causa do problema apontado parece ser óbvia, o grupo deve tomar cuidado para não seguir pelo “caminho mais fácil” quando está buscando o entendimento do caso em questão. Diante disso, a ferramenta “5 por quês” não é muito aconselhável, pois se empregada de maneira incorreta, pode gerar um direcionamento do pensamento dos integrantes do grupo para esta solução mais óbvia, deixando de lado outras possíveis causas raízes. Nestes casos, outras ferramentas de gestão da manutenção podem ser utilizadas, como a árvore de falhas ou o diagrama de Ishikawa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Milena Cabral. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. 2014. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>> . Acesso em: 10 ago. 2016.

AMMERMAN, Max. **The root cause analysis handbook**: a simplified approach to identifying, correcting, and reporting workplace errors. Nova Iorque: Taylor & Francis, 1998.

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

BAPTISTA, José Antônio. A importância da análise de causa raiz (root cause analysis) na melhoria do desempenho da manutenção industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 26., 2011, Curitiba. **Publicações...** Rio de Janeiro: ABRAMAN, 2011. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/191/191.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

BARTZ, A. P. B.; RUPPENTHAL, J. E. Aplicação da manufatura enxuta como fator de aumento da competitividade. **Espacios**, v. 34, n. 3, p. 1–21, 2013. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881628268&partnerID=tZOtx3y1>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. A revised failure mode and effect model. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 13, n. 1, p. 43-47, 1996. <http://dx.doi.org/10.1108/02656719610108297>

BUDYMAS, R.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**. 10 ed. Porto Alegre: Amgh, 2016.

CALÔBA, G.; KLAES, M. **Gerenciamento de projetos com PDCA**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2016.

CAMPOS, V.F. **TQC**: Controle da qualidade total (no estilo japonês). 7. ed. Belo Horizonte: Bloch, 1992.

CERTA et al. A Dempster-Shafer Theory-based approach to the Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) under epistemic uncertainty: application to

the propulsion system of a fishing vessel. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 159, p. 69-79, mar. 2017. <http://doi.org/10.1016/j.ress.2016.10.018>

CESCONETO et al. Utilização de ferramentas da qualidade para melhoria dos processos do setor de hastes flexíveis: o estudo de caso de uma empresa do setor de higienização pessoal. **Espacios**, v. 35, n. 8, 2014.

CISCATO, C. D. S.; BARDEN, V.; CASTOLDI, A. V.; et al. Mapa Estratégico: Uma Pesquisa-Ação para a melhoria do fluxo de caixa em uma indústria têxtil no sul do Brasil. **Espacios**, v. 37, n. 1, p. 1–13, 2016.

CUNHA, R. C. **Análise do estado de conservação de um redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações**. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

IMAI, Masaaki. **Kaizen: the key to Japan's competitive success**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1986.

JONGE, B.; TEUNTERA, R.; TINGAB, T. The influence of practical factors on the benefits of condition-based maintenance over time-based maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 158, p. 21-30, fev. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.10.002>

LIMNIOS, Nikolaos. **Fault trees**. 1.ed. Londres: ISTE Ltd, 2007.

MATOS et al. Manutenção aplicada a equipamentos do sistema elétrico por intermédio de ferramentas da qualidade. **Espacios**, v. 35, n. 2, p. 1–14, 2014.

MOBLEY, R. K. Root cause failure analysis. Woburn: Butterworth-Heinemann, 1999.

MOREIRA NETO, Teófilo Cortizo. A história da evolução do sistema de gestão de manutenção. **Web Artigos**: Artigos, set. 2011. Disponível em: <http://www.webartigos.com/artigos/a-historia-da-evolucao-do-sistema-de-gestao-de-manutencao/75650/>. Acesso em: 26 jun. 2016.

PERDONÁ et al. Associação entre Ferramentas da Qualidade e Tipos de Manutenção : Análise e Aplicabilidade em uma Unidade Militar. **Espacios**, v. 37, n. 14, p. 1–9, 2017.

POWERPACK. **Manual de instruções**: Compressor de parafuso Airpower (10~150HP). 2015

PUGLIESI et al. Análise e Perspectivas de Integração de Sistemas de Gestão ISO 14001:2015 e o Programa Responsible Care. **Revista Espacios**, v. 37, n. 16, p. 25, 2016.

SERRAT, Olivier. **The Five Whys Technique**. Washington, DC: Asian Development Bank, 2010. Disponível em: <<http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1200&context=intl>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

SILVA, E. A. T. O.; REZENDE, F. P.; FREITAS, F. O. Cultura Organizacional e Resistência a Mudança. In: SEGET - SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 8, 2011, Resende. **Artigos...** Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2011.

SINIGAGLIA, T. Implantação do programa 5s em uma indústria do setor metal mecânico na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Program implementation 5s in an industry mechanical metal sector in Rio Grande do Sul state Northwest region. **Revista Espacios**, v. 36, n. 23, p. 1-13, 2015.

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

SLACK, N; JOHNSTON, R; CHAMBERS, S. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TAVARES, Lourival Augusto. **Excelência na Manutenção**: Estratégias, otimização e gerenciamento. Salvador: Casa da Qualidade, 1996.

VESELY, W. E et al. **Fault tree handbook**. Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 1981. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/docs/ML1007/ML100780465.pdf>> Acesso em: 25 ago. 2016.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM**: planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.