



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**  
**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO**

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM**  
**ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE GRANDE**  
**PORTE NO SEGMENTO DE LOUÇAS SANITÁRIAS**

**MARIA CAMYLA GONÇALVES WANDERLEY**

**CARUARU, 2017**

**MARIA CAMYLA GONÇALVES WANDERLEY**

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM  
ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE GRANDE  
PORTE NO SEGMENTO DE LOUÇAS SANITÁRIAS**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Gestão da Produção  
Orientador: Prof<sup>o</sup> Rodrigo Sampaio Lopes, Dsc

CARUARU, 2017

Catálogo na fonte:

Bibliotecária – Marcela Porfírio – CRB/4-1878

W245m Wanderley, Maria Camyla Gonçalves.  
Manutenção centrada na confiabilidade : um estudo de caso em uma indústria de grande porte no segmento de louças sanitárias. / Maria Camyla Gonçalves Wanderley. – 2017.  
55f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Rodrigo Sampaio Lopes.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia de Produção, 2017.  
Inclui Referências.

1. Confiabilidade (Engenharia). 2. Fábricas – Manutenção. I. Lopes, Rodrigo Sampaio (Orientador). II. Título.

658.5 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2017-100)

**MARIA CAMYLA GONÇALVES WANDERLEY**

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE NO SEGMENTO DE LOUÇAS SANITÁRIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Gestão da Produção

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato MARIA CAMYLA GONÇALVES WANDERLEY, APROVADO COM NOTA\_\_\_\_\_.

Caruaru, 04 de julho de 2017.

Banca examinadora:

Profº. Rodrigo Sampaio Lopes, DSc \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Profª. Marcele Elisa Fontana, DSc \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Profº. Thalles Vitelli Garcez, DSc \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Lúcio Câmara e Silva, DSc \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por todo amor, mimos e nunca desistir de mim, mesmo quando ofereço motivos mais que plausíveis para isso. A Maria, minha mãe, por sua intercessão juntamente com os anjos e santos.

Aos meus pais, Alberes e Maria Cícera, por toda educação, amor, apoio e crença no meu futuro, por vocês todo o meu orgulho, amor e dedicação. Aos meus irmãos, Clara e João, onde percebo todo cuidado, amor e carinho apenas nos seus olhos, e ao meu cunhado, Felipe, por torcer e me ajudar sempre.

Aos meus outros familiares, por muitas vezes me desafiarem e com isso me darem fôlego para continuar, e de modo mais especial, a minha tia Cleidejane e a minha avó, Maria Otilia, sem vocês não estaria chegando ao final desta jornada.

Todos os amigos que conquistei nesta vida, os que ainda se fazem presente e os que se perderam com o tempo, os que estão mais perto e os que estão longe fisicamente, amo vocês. E os amigos que a Universidade trouxe, em especial Bruno, Clóvis Araújo, Danilo, José Eliziel, Thiago Muniz, Wesley Lima, Xênnya Suanny, sou grata a vocês por todo incentivo e toda a ajuda, que isto se perpetue todos os dias de nossas vidas.

À Layse Diniz, Maylon Dieferson, Ramon Ramos, Ruben, Thaísa Fernanda, Wesley Douglas e tantos outros que me ajudaram nesta última etapa, lendo, me incentivando, todo o meu agradecimento é pouco.

A Universidade por me acolher e me preparar para o futuro. Ao professor Rodrigo Lopes, orientador deste projeto, por toda ajuda e incentivo, bem como todos os professores que me auxiliaram nesses anos, os quais me ajudaram a crescer academicamente e pessoalmente.

Por fim, agradeço a empresa a qual estagiei e foi aplicado o presente trabalho, obrigada por acreditarem no meu trabalho, em especial a minha supervisora, Cataline Laborde, a qual me deu todo o incentivo possível e os supervisores da manutenção que me auxiliaram com a maior boa vontade e entusiasmo.

## RESUMO

A globalização trouxe proximidade entre países, pessoas e mercados, mas à medida que este entrelace sucedeu, a concorrência e competitividade tornou-se mais acirrada, criando a necessidade de inovação e melhoria dos processos internos de cada empresa. Dentre as alternativas para melhorar os processos internos, existe a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que é uma metodologia que objetiva reduzir custos, aumentar a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos, entre outros benefícios. O presente estudo desenvolve um estudo de caso em uma empresa de grande porte de louças sanitárias localizada em Caruaru, no agreste pernambucano. Ao decorrer do trabalho apresenta-se o passo-a-passo da implantação da metodologia, bem como os resultados, dentre eles: uma redução significativa de custos, aumento de disponibilidade dos itens, identificação de componentes críticos e as atividades mais apropriadas para a manutenção da unidade fabril. Concluindo-se assim, a efetividade da metodologia em tempo hábil e com resultados satisfatórios através de atividades relativamente simples na manutenção.

**Palavras Chaves:** Manutenção Centrada na Confiabilidade. FMEA. Louças sanitárias.

## ABSTRACT

The process of globalization brought proximity between countries, people and markets, but as this interlace succeeded, competition and competitiveness became tighter, creating the need to innovate and improve each enterprise's intern process. Among the alternatives to improve internal processes, there is Reliability Centered Maintenance (MCC), which is a methodology that aims to reduce costs, increase the reliability and availability of equipment, among other benefits. The present study develops a case study in a large company of sanitary ware located in Caruaru, in the rural state of Pernambuco. During the course of the work, the implementation of the methodology is presented, as well as the results, among them: a significant cost reduction, item's increased availability, critical component identification and the most appropriate activities to the factory unit's maintenance. In conclusion, the effectiveness of the methodology in a timely manner and with satisfactory results through relatively simple maintenance activities.

**Keywords:** *Reliability-Centered Maintenance. FMEA. Sanitary ware.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Fases da metodologia empregada .....	15
Figura 2.1: Classificação da manutenção .....	19
Figura 3.1: Fluxograma da unidade fabril .....	24
Figura 3.2: Moinho de bolas- vista frontal .....	28
Figura 3.3: Moinho de bolas- detalhamento das polias.....	29
Figura 3.4: Fluxograma do processo de fabricação de massa .....	32
Figura 3.5: Hierarquização dos subsistemas .....	33
Figura 3.6: Diagrama lógico da seleção .....	39
Figura 4.1: Ordem de serviço - OS .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Modo de falha versus severidade .....	36
Tabela 3.2: Modo de falha versus RPN .....	37
Tabela 4.1: Solicitações de Manutenção antes e depois da MCC.....	47
Tabela 4.2: Detalhamento das manutenções .....	48
Tabela 4.3: Tempo de parada dos moinhos.....	48
Tabela 4.4: Custos provindos de manutenções antes da MCC .....	49
Tabela 4.5: Custos provindos de manutenções após a MCC .....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Função Principal versus secundária .....	31
Quadro 3.2: Funções dos componentes.....	34
Quadro 3.3: Modos de falha e seus efeitos .....	35
Quadro 3.4: Funções significantes .....	39
Quadro 3.5: Categorização das funções significantes.....	40
Quadro 3.6: Critérios de aplicabilidade para atividades .....	42
Quadro 3.7: Critérios de efetividade .....	43
Quadro 3.8: Atividades aplicáveis e efetivas .....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1	Objetivos	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Metodologia	14
<b>2</b>	<b>BASE TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	Manutenção e sua evolução	16
2.1.1	Função manutenção	16
2.1.2	Breve Histórico da Manutenção	17
2.1.3	Classificação da Manutenção	18
2.2	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	19
<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b>	<b>23</b>
3.1	Caracterização da Empresa	23
3.2	O processo produtivo	23
3.3	Escolha do setor e do equipamento para o estudo	27
3.4	Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade	29
3.4.1	Seleção do sistema e coleta de informações	29
3.4.1.1	<i>Descrição textual do equipamento</i>	30
3.4.1.2	<i>Descrição do Contexto Operacional</i>	31
3.4.1.3	<i>Caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas</i>	31
3.4.1.4	<i>Diagrama Organizacional da hierarquia dos subsistemas e componentes</i>	32
3.4.2	Análise de Modos de Falhas e Efeitos	33
3.4.2.1	<i>Componentes versus Função</i>	34
3.4.2.2	<i>Componente versus Falha versus Efeito da Falha</i>	34
3.4.2.3	<i>Efeito da Falha versus Severidade</i>	36
3.4.3	Seleção de Funções Significantes	39
3.4.4	Seleção de Atividades Aplicáveis	41
3.4.5	Avaliação da Efetividade das Atividades	42
3.4.6	Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas	44

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>51</b>
5.1	Vantagens e contribuições .....	51
5.2	Limitações .....	51
5.3	Trabalhos futuros .....	52
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A globalização é um caminho irremediável o qual a humanidade está inserida, processo contínuo e que afeta a todos, independentemente da classe social, raça ou localização no mundo, visto que informações não ficam mais restritas a uma única pessoa, e sim difundidas em tempo real em uma escala global, tornando, assim, a competitividade entre mercados mais acirrada.

Então, para a continuidade de uma empresa no mercado, faz-se necessário investimentos e atenção em estratégias de produção, buscando inovar e acrescentar melhorias a todo o momento, desde simples mudanças em processos internos até a mudança cultural da empresa, por vezes a que acarreta maiores dificuldades.

Em se tratando de estratégia da produção, a manutenção pode ser vista como um aspecto da gestão estratégica visto que é o setor que deve assegurar que itens físicos continuem a fazer o que seus usuários desejam que eles façam (Moubray (1994) *apud* Siqueira (2005)). Além disso, é uma área que acarreta bons resultados por ser imprescindível para uma empresa, visto que afeta todos ou quase todos os estágios de produção de uma indústria, pois impacta diretamente na funcionalidade e na disponibilidade de equipamentos.

Existem diversas metodologias na área de manutenção, as quais são difundidas no mundo, dentre elas a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) vem ganhando notoriedade, pois, segundo Siqueira (2009), a mesma possui uma sequência de passos bem definidos de forma a responder às questões formuladas da MCC, aumenta a disponibilidade dos itens, reduz custos de manutenção, define quais atividades de manutenção adequam-se a realidade da empresa.

Garza (2002) afirma que a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) determina a estratégia de manutenção capaz de evitar ou reduzir as consequências e efeitos significantes de uma falha, de modo que não interfira no processo de produção, do componente ou equipamento de maneira isolada. O foco da MCC está na preservação da função do sistema, e não apenas na restituição do item físico para voltar a condição ideal (Ben-Daya, 2000).

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral apresentar e implementar a metodologia Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) orientada e adaptada para uma empresa de Louças Sanitárias na cidade de Caruaru.

Em consonância com o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar e identificar o setor na empresa em questão que mais carece de atenção na área de manutenção;
- Implantar a Manutenção Centrada na Confiabilidade em um equipamento do setor selecionado;
- Analisar a implantação da metodologia no item selecionado e os resultados advindos do mesmo;
- Melhorar o setor em análise através de boas práticas de manutenção e, assim, mostrar quão necessária é a gestão de manutenção.

## 1.2 Justificativa

O aumento da competitividade empresarial é um dos propulsores para que empresas de todos os setores se atentem a melhorias de processos e procedimentos de acordo com suas realidades, de modo a ganhar em confiabilidade, disponibilidade, melhorias econômicas, ambientais e de segurança.

A proposta do presente trabalho é justificada pelo fato da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) apresentar um baixo investimento, pois a metodologia busca colocar em prática atividades simples como lubrificação de itens do equipamento, verificação de ruídos; possui etapas bem estruturadas, visto que cada etapa mostra detalhadamente o que deve ser feito e quem deve aplicar; entre outras características. Assim, a MCC adequa-se a realidade da empresa e de cada equipamento e não o inverso.

Outro motivo pelo qual o trabalho justifica-se é a realidade da empresa em análise, visto que a área de manutenção carecia de atenção e cuidado, pois não existia nenhum tipo de estudo e nenhuma preocupação de fato com a manutenção, além de gastos exorbitantes destinados à área.

Além das justificativas supracitadas, realçasse que a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) possui poucos estudos no setor de cerâmicas brancas e o presente trabalho pode contribuir para o enriquecimento da área e do setor. A exemplo de setores onde a metodologia foi usada e bem-sucedida tem-se: Meneghini & Zaions (2016) que aplicaram a MCC no setor alimentício juntamente com uma análise de Árvore lógica de decisão e o diagrama de decisão na termoformagem, equipamento escolhido pelos autores para a análise, conseguindo assim montar um plano de manutenção preventivo para o equipamento e Souza (2012) aplicou a MCC no mesmo setor, mas em um sistema de alimentação de uma caldeira juntamente com o software SAP-PM, os resultados consistiram em identificar e sugerir ações

para bloquear modos de falhas até então não observados e mostrar a importância de uma modificação na gestão estratégica da empresa; Almeida *et al.* (2001) aplicou a MCC em uma usina termelétrica e obteve afirma que a médio e longo prazo haverá uma redução nos custos de manutenção, pois existe uma diminuição nas intervenções corretivas e uma melhora do controle e planejamento de todo o processo; já no setor de fabricação de medicamentos veterinário, Caetano *et al.* (2015) aplicou a metodologia na máquina de fabricação dos medicamentos conseguindo aumentar a qualidade do produto e identificando as causas potenciais de problemas de confiabilidade do equipamento; Lopes *et al.* (2016) implementou a metodologia em um sistema de refrigeração à base de água em um Shopping Center os resultados também dizem respeito à compreensão dos colaboradores quanto aos modos de falhas, das causas, dos efeitos e como evitar nos equipamentos; os autores Leão & Andrade (2015) aplicaram a MCC no setor metalúrgico que deteve-se ao equipamento de trafilagem, onde além da MCC utilizou-se o software Proconf para melhor análise de confiabilidade, e como resultados identificou-se os pontos para a redução dos modos de falha, a necessidade de restabelecer estratégias de manutenção, um aumento de confiabilidade nos equipamentos e o desenvolvimento de procedimentos operacionais padrão.

### **1.3 Metodologia**

O referido trabalho enquadra-se no tipo de pesquisa qualitativa pois implanta uma metodologia e quantitativa pois apresenta resultados quantificáveis. As captações das informações necessárias para o estudo na empresa de louças sanitárias, em Caruaru-PE, duraram 2 (dois) meses, abril e maio de 2017, o primeiro mês compreende o período pré-implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e o segundo a MCC já implantada.

A Figura 1.1 apresenta o fluxo de etapas seguido para o estudo:

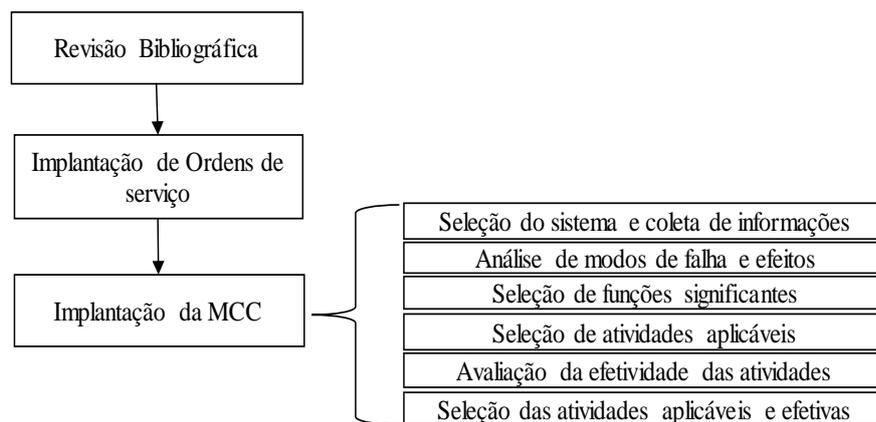


Figura 1.1: Fases da metodologia empregada

Fonte: O autor (2017)

A revisão bibliográfica, primeira etapa, foi imprescindível para conhecimento sobre os temas de manutenção, da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), e do equipamento escolhido para análise, os moinhos de bolas.

A segunda fase consiste na implantação das ordens de serviço, as quais serviram de coleta de informações antes e depois da implantação da MCC para assim ser possível ter-se os comparativos no final do estudo.

A última fase é constituída pela implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) que consistiu nas atividades mostradas na Figura acima, onde dos 7 (sete) passos existentes na metodologia apenas as 6 (seis) primeiras foram colocadas em prática no estudo, visto que a sétima necessitaria de mais tempo de aplicação da MCC e de um software adequado para obter-se resultados mais satisfatórios. Ainda foi aplicado um questionário o qual os supervisores da manutenção mecânica e elétrica, e os mecânicos e eletricitistas deram notas de 0 a 10 para os aspectos de frequência, detectabilidade, e gravidade para os modos de falhas apresentadas em uma das etapas de implementação da MCC.

Vale ressaltar que durante a implantação da metodologia, um *brainstorming* foi realizado com os participantes da metodologia (supervisores, técnicos, entre outros), afim de utilizar suas ideias para realização eficaz e efetiva da metodologia.

No decorrer do trabalho, os capítulos apresentam informações mais detalhadas sobre a metodologia, os passos para sua implementação, os resultados obtidos em análises qualitativas e quantitativas, mostrando tangivelmente a importância da Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma empresa. E, para finalizar, a conclusão elenca os conhecimentos construídos no decorrer do trabalho.

## 2 BASE TEÓRICA

O presente capítulo visa apresentar os conceitos e histórico sobre manutenção, além dos aspectos da Manutenção Centrada na Confiabilidade, metodologia base do presente estudo, através da ótica de alguns renomados autores que dedicam seu tempo para o desenvolvimento e aprimoramento da metodologia.

### 2.1 Manutenção e sua evolução

A seção presente tem como objetivo apresentar uma visão geral do que é manutenção, sua funcionalidade, suas fases históricas bem como sua classificação.

#### 2.1.1 Função manutenção

A ABNT, por meio da NBR 5462/1994, define manutenção como 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; e acrescenta ainda que a manutenção pode incluir uma modificação do item.

Faria (1994) afirma que manutenção é manter os equipamentos em funcionamento como foram projetos. A manutenção é um conjunto de ações que permitem manter ou estabelecer um bem dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado (A.F.N.O.R, 1985, *apud* Mouch, 1989).

Os autores Kardec & Nasfic (2009) fazem uma afirmação mais completa e complexa da definição de manutenção, para eles além de executar sua função, a manutenção deve garantir a confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio ambiente e com custos adequados, sendo essa a missão da manutenção.

A função manutenção é definida como uma combinação de todas as atividades técnicas e administrativas necessárias para manter equipamentos, instalações físicas e outros conjuntos na condição operacional desejada ou restaurá-los a essa condição (Pintelon & VanPuyvelde, 2006, *apud* Souza, 2012).

Proferidas as definições das competências da manutenção, apresentar-se os benefícios da manutenção, de acordo com Slack *et al.* (2006):

- **Segurança melhorada:** Instalações confiáveis comportam-se de modo previsível e padronizada, evitando falhas parciais ou totais, que acarretam riscos para as pessoas;

- **Confiabilidade aumentada:** Redução do tempo destinado a consertos e consequentemente redução no número de interrupções em atividades normais de produção, aumentando assim os níveis de serviços;
- **Qualidade maior:** Quanto melhor os equipamentos forem mantidos menor a probabilidade de maus desempenhos e problemas com qualidade;
- **Custos de operação mais baixos:** Quanto mais manutenções regulares, menos os riscos de funcionamento ineficientemente;
- **Tempo de vida mais longo:** Para minimizar desgastes e deteriorações, é recomendável limpezas e lubrificações, atividades simples e com baixo custo;
- **Valor final mais alto:** Quanto melhor a conservação de instalações, mais fáceis são de vender no mercado de segunda mão.

### 2.1.2 Breve Histórico da Manutenção

A Primeira Geração da manutenção, também conhecida como Mecanização, é datada de 1940 a 1950 com o final da Segunda Guerra Mundial (Siqueira, 2009). Neste período, a mecanização da indústria era incipiente, de modo a utilizar equipamentos simples e sobredimensionados para as funções onde eram aplicados. Isso significava que a prevenção contra falhas de equipamentos não era uma prioridade para a maioria dos gerentes (Moubray, 2007).

A era da Industrialização ou Segunda Geração da manutenção, de acordo com os autores Moubray (2007); Siqueira (2009) e Kardec & Nasfic (2009), iniciaram após a Segunda Guerra Mundial até meados da década de 70. Além de concordarem no período de compreensão desta etapa da manutenção, eles compartilham seus conhecimentos sobre as características propícias para o avanço da manutenção nesta época. Esta geração acompanhou a disseminação das linhas de produção contínuas, gerando dependência crescente da sociedade em relação aos produtos e processos industriais (Siqueira, 2009). Finalmente, o conceito de manutenção preventiva é criado a partir da busca para aumentar a vida útil dos ativos, pois a quantidade de capital investida nestes foi alta, juntamente com aumento do custo de capital (Moubray, 2007).

A geração da Automatização ou terceira geração da manutenção, datada a partir de 1975 desenvolveu-se por falta de técnicas e metodologias nas gerações anteriores que suprissem as necessidades da automação da indústria (Siqueira, 2009). Kardec & Nasfic, (2009) afirmam que nesta geração o conceito e a utilização da manutenção preditiva aumentaram; o avanço da informática permitiu o maior desenvolvimento de *softwares* potentes para o planejamento; houve o aumento da utilização de computadores pessoais; o aumento do controle e de um

melhor acompanhamento dos serviços de manutenção; ainda nesta geração a definição de confiabilidade torna-se mais difundida pela Engenharia e na manutenção. Em 1990, no Brasil, o processo de MCC é apoiado aos estudos de confiabilidade da indústria aeronáutica e inicia-se a implantação da metodologia. Os novos projetos buscavam uma maior confiabilidade, mas devido à falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação, os resultados tornavam-se comprometidos e, em consequência, as taxas de falhas prematuras (mortalidade infantil) eram elevadas.

### 2.1.3 Classificação da Manutenção

Autores como Xenos (1998) e Slack *et al.* (2006), definem três abordagens básicas para a manutenção:

- **Manutenção corretiva:** Como o nome diz, significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem, ou seja, só existe intervenção após a falha ter ocorrido. Na ótica do custo de manutenção existe um *trade off*, porque esta é o tipo de manutenção mais barata, contudo é a que acarreta maiores perdas por interrupção da produção;
- **Manutenção preventiva:** Envolve tarefas sistemáticas, de modo a eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição ou verificação) das instalações em intervalos pré-programados, diferentemente da manutenção corretiva.
- **Manutenção preditiva:** Realiza a manutenção somente quando as instalações precisarem dela. Permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes, aumentando assim o intervalo de manutenção, visto que permite prever quando a peça ou o componente estarão próximos do seu limite de vida, ou seja, é mais uma maneira de inspecionar os equipamentos.

Siqueira (2006) classifica a manutenção de modo diferente, ele faz a análise sob duas óticas: a de programação e por objetivo. A Figura 2.1 ilustra como estas classes estão subdividas.

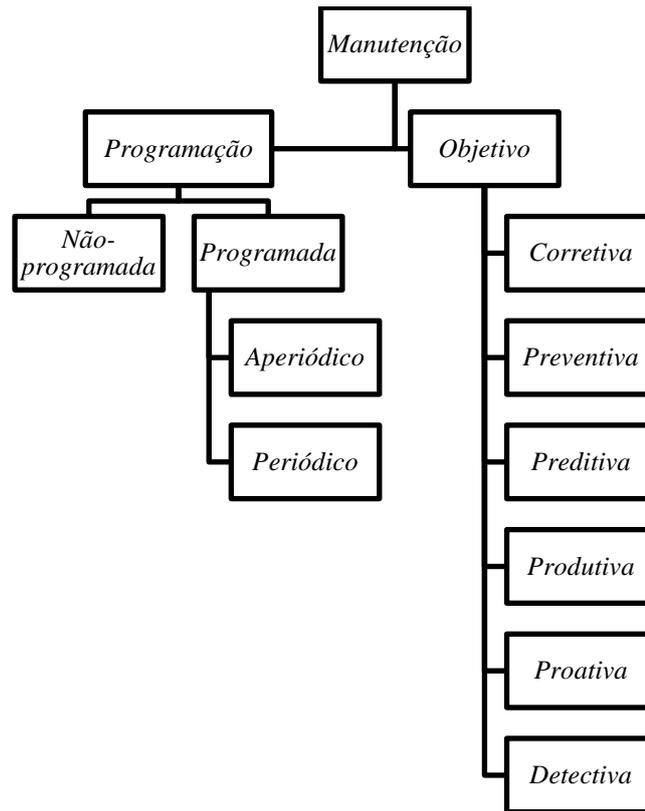


Figura 2.1: Classificação da manutenção

Fonte: Siqueira (2006)

Onde as atividades de manutenção programada dizem respeito à execução de acordo com critérios de tempo e condições pré-definidas e à manutenção não-programada para as atividades em função da necessidade. Já a classificação por objetivos, diz respeito à atitude dos usuários em relação às falhas.

As manutenções corretivas, preventivas e preditivas estão em consonância com as definições dadas por Xenos (1998) e Slack (2006). A manutenção produtiva busca otimizar a utilização e a produtividade dos equipamentos, já a manutenção proativa é utilizada para aumentar o processo e o projeto de novos equipamentos em uma atitude proativa de melhoria contínua, e por fim, a manutenção detectiva tem como objetivo identificar as falhas que já tenham ocorrido, mas que não sejam percebidas pelos colaboradores no dia-a-dia.

## 2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A origem da *Reliability Centered Maintenance* (RCM) - Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) - está relacionada aos processos tecnológicos e sociais que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. O primeiro evento atribuído à origem da MCC refere-se à necessidade de certificação na linha de aeronaves Boeing 747, o Jumbo, pela Federal

Aviation Authority (FAA), nos Estados Unidos (Siqueira, 2005). A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é um método para planejamento da manutenção, desenvolvido dentro da indústria aeronáutica e mais tarde adaptado para os vários tipos de indústrias e ramos militares (Rausand, 1998).

Os princípios da Manutenção Centrada na Confiabilidade são a preservação das funções dos equipamentos com toda a segurança necessária, restituindo a confiabilidade e a segurança do equipamento, após a deterioração; o aumento da disponibilidade do item; a minimização do custo do ciclo de vida e a contribuição para que seja prolongada o máximo possível; atuação conforme os modos de falha; a intervenção apenas nas atividades indispensáveis; agir em função dos efeitos e consequências da falha; e por fim, a documentação e análise do motivo da escolha das atividades (Norma IEC 60300-3- 11 e o Relatório MSG-3 *apud* Siqueira, 2005).

A filosofia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) almeja que o equipamento cumpra, de modo confiável, as funções e o desempenho requeridos de acordo com a concepção do projeto, por meio da combinação e otimização do uso das políticas de manutenção disponíveis na literatura (Moraes, 2004). Para Siqueira & Almeida (2001) a MCC se constitui em uma metodologia de ressaltar as necessidades de manutenção em todos os processos físicos ou industriais, independentemente do número de itens dos processos.

Wikoff *et al.* (2008), afirma que um processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade identifica sistematicamente todas as falhas funcionais de ativos, todas as causas prováveis para essas falhas, em seguida, identifica os efeitos desses prováveis modos de falha e identifica de que maneira esses efeitos são importantes. Preservar funções, identificar modos de falha que podem derrotar as funções, priorizar a necessidade da função, selecionar as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis e eficazes para os modos de falha de alta prioridade, são as características mais fortes da MCC para Smith & Hinchcliffe (2006).

Segundo Arno *et al.*, (2015), a abordagem Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) baseia-se nos seguintes preceitos:

- Além da operacionalidade do item ou sistema, o setor de manutenção deve garantir e manter a preservação da função do mesmo. Redundâncias em equipamentos carregam consigo uma certa segurança de que se caso uma falha individual venha a ocorrer, a mesma não irá gerar impacto brutal para o funcionamento global do sistema;
- A visão principal do MCC é centrada no sistema como um todo e preocupa-se mais com a manutenção da função primária do sistema do que nos componentes individuais;

- Confiabilidade é a o primeiro passo para que as decisões quanto às ações a serem aplicadas possam ocorrer de maneira significativa. As circunstâncias da falha de um ESC (estrutura, sistema ou componente) devem ser analisadas e entendidas para determinar o quão eficaz é o PMP (Programa de Manutenção da Planta), bem como os devidos ajustes que se façam necessários para a busca da melhoria contínua;
- Em primeiro lugar, a MCC debruça-se pela segurança e, em seguida, pela economia. Ou seja, quando o nível de segurança não justifica verdadeiramente a metodologia, por existir um estudo e uma preocupação alta com esse aspecto, o Programa de Manutenção da Planta deve ser justificado por benefícios econômicos;
- A MCC reconhece limitações de projeto. A confiabilidade de um ESC é intrínseca ao projeto e a manutenção não pode afetar isto, tendo por objetivo apenas sustentar o nível de confiabilidade inerente ao longo da vida deste ESC;
- Como a MCC é um processo contínuo no qual as informações obtidas pela experiência operacional e pelas características de falhas são utilizadas para realimentar o processo e promover a melhoria contínua do PMP.

Moubray (2007) afirma que o processo da MCC implica em sete perguntas pertinentes, são elas:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

Os maiores benefícios oriundos da prática da MCC para Kardec & Nasfic (2009), são o desenvolvimento do desempenho operacional, prolongamento da vida útil dos equipamentos, maior custo x benefício, maior confiabilidade nas questões ambientais e de segurança, um banco de dados com informações sobre a manutenção, geração de motivação dos colaboradores, maior compartilhamento dos problemas de manutenção com todos os envolvidos, além da geração de senso de equipe.

Siqueira (2009), adota uma sequência estruturada de implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) composta por sete etapas que são listadas a seguir:

- 1. Seleção do Sistema e Coleta de Informações:** Responsável por identificar e documentar todo o sistema ou o processo a ser escolhido e analisado;
- 2. Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA):** São documentadas todas as funções, os seus modos de falha e os efeitos causados por tais modos de cada item do sistema;
- 3. Seleção de Funções Significantes:** Determinar se uma falha, da etapa anterior, possui um efeito significativo, levando em consideração os pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo;
- 4. Seleção de Atividades Aplicáveis:** Etapa que é responsável em determinar as tarefas de manutenção preventiva que possam ser aplicáveis em qualquer empresa, de modo a corrigir ou prevenir cada modo de falha;
- 5. Avaliação da Efetividade das Atividades:** Das tarefas determinadas na etapa anterior, determina-se quais delas possuem um nível aceitável de redução das consequências previstas para uma falha;
- 6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas:** Determina-se a melhor tarefa, baseada nos resultados do processo, na segurança física, nos impactos operacionais e ambientais e que são adequadas para a realidade da empresa;
- 7. Definição da Periodicidade das Atividades:** Estabelecem-se os métodos e critérios para a definição de periodicidade ou frequência da execução das atividades da etapa 6.

### **3 ESTUDO DE CASO**

O atual capítulo apresenta a empresa na qual foi realizado um estudo de caso, tanto de um modo geral sobre capacidade produtiva, quanto sobre sua história e também seu processo produtivo, explana ainda sobre o setor e os equipamentos alvo da aplicação da MCC bem como cada etapa da metodologia aplicada na empresa.

#### **3.1 Caracterização da Empresa**

A empresa a qual a metodologia foi aplicada busca constantemente tecnologias inovadoras para elevar a qualidade de seus produtos e serviços, para assim, manter a satisfação de toda a sua cadeia produtiva, desde seus fornecedores até o cliente final. A empresa é referencial produtivo no mercado de cerâmicas brancas, ou conhecidas também como louças sanitárias. Sua produção é constituída de diversas linhas de produtos e dentro destas linhas, existem vários tipos de produtos.

Situada na cidade de Caruaru, no agreste Pernambucano, está há mais de 55 anos no mercado. Inicialmente destinava-se a produção de cerâmica artística para atender o mercado regional, mas devido à sua qualidade exemplar foi reconhecida em outros mercados. Após alguns anos decidiu por ampliar sua capacidade de produção e comercialização no território brasileiro, logo em seguida, mudou o ramo de produção e iniciou a produção de louças sanitárias, a qual adquiriu notoriedade no mercado regional e nacional. Ainda no mesmo ano, a empresa passou a ser um grupo, pois surgiram duas empresas para incorporar sua relevância no mercado.

Desde então, a empresa tem expandido cada vez mais sua produção e extensão de área produtiva, a primeira atualmente produz cerca de 1.200.000 peças anualmente e a segunda possui uma área de 36 mil m<sup>2</sup>, além de ter um Quadro de funcionários expressivo, contando com aproximadamente 1000 colaboradores, e ainda, possui uma frota própria com 146 veículos, podendo assim atender todo o mercado e garantindo que o cliente receberá a mercadoria na data prevista. Os veículos são todos rastreados, tornando-se possível o acompanhamento da entrega, desde a saída da empresa até o cliente. A empresa conta com mais de 10 mil clientes, entre ativos e inativos, localizados em todo o território brasileiro.

#### **3.2 O processo produtivo**

A empresa para manter seu padrão de qualidade dispõe de todos os processos necessários para a fabricação de louças sanitárias, desde a extração de matérias-primas até a entrega dos

produtos acabados aos clientes, tendo assim uma forte independência de terceiros. A fábrica é composta por vários setores, sendo eles: fabricação de massa, laboratório de massa e qualidade, fabricação de moldes, fabricação de esmalte, fundição manual e mecanizada, secagem e limpeza, acabamento/inspeção, esmaltação manual e automática, enformamento, classificação, estoque e expedição; além de dar suporte e apoio aos seus clientes, quando necessário.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma de toda a unidade fabril, e logo em seguida, cada setor envolvido na empresa é explanado de forma detalhada e objetiva.

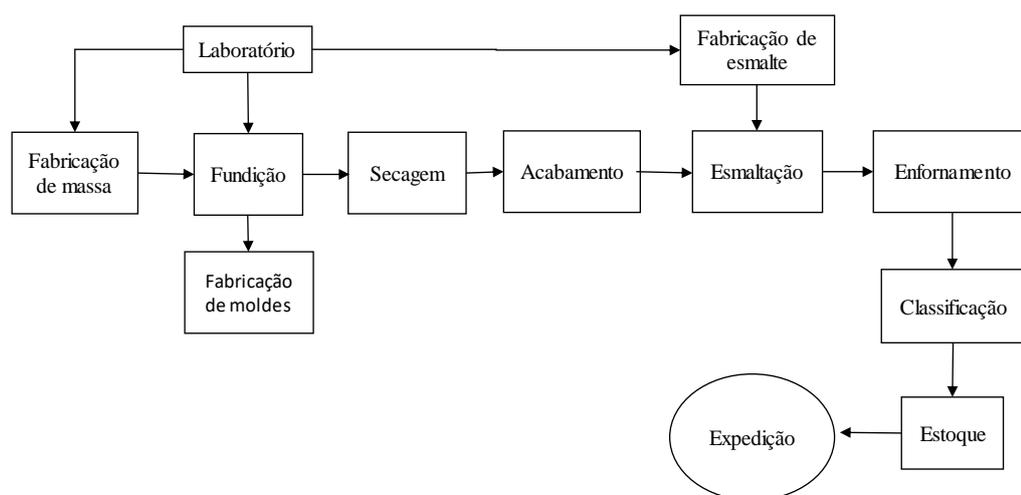


Figura 3.1: Fluxograma da unidade fabril

Fonte: Autor (2017)

- **Fabricação de massa:**

As matérias-primas selecionadas são inseridas nos moinhos de bolas, acrescentando-se água e silicato de sódio, passando por um processo de moagem que variam de 12 a 14 horas para matérias-primas virgens. Para a obtenção da barbotina, também há a opção de reciclar o retorno proveniente do processo de fundição, que é inserido diretamente nos tanques de armazenamento de massa. Como também, recicla os “Scraps” que são provenientes das quebras ocorridas nas peças antes de serem inseridas no forno, nesse caso, o processo de moagem dura cerca de 30 a 40 minutos, já que só haverá o reprocessamento de material.

Depois da moagem, a barbotina passa por testes laboratoriais para verificação de propriedades que ditarão se a massa pode ser liberada para o processo posterior, que no caso é a fundição.

- **Laboratórios:**

Existem dois laboratórios na organização, o primeiro é responsável pela análise e controle de todas as matérias-primas utilizadas na empresa e o segundo é responsável pelos testes de

qualidade. O laboratório de análise e controle é responsável pelo bom andamento da produção, sendo um dos setores chave para a qualidade dos produtos, de modo que só a partir dos testes feitos por ele é que os materiais podem ser liberados para a produção. E o laboratório de qualidade é quem dá o aval para as peças acabadas serem comercializadas.

- **Fabricação de moldes:**

A fábrica de moldes é a responsável pelo fornecimento dos moldes de gesso que serão utilizados na fundição dos produtos. As matérias primas, gesso e água, são colocadas no misturador em certas quantidades, até chegarem à consistência desejada para que assim sejam introduzidas dentro das matrizes, as quais já devem estar preparadas e polidas com desmoldantes. Espera-se a secagem para assim retirar as matrizes com ajuda de ar comprimido e depois o acabamento final. Após acabadas, as peças secarão para logo em seguida serem estocadas ou seguirem para a fundição, caso haja a necessidade imediata.

- **Fabricação do esmalte:**

O esmalte que dá a tintura nas louças sanitárias também é fabricado na própria empresa e pode ser feita quaisquer cores de acordo com a preferência do cliente, mas a cor branca fica em estoque visto que é a cor que mais tem pedidos. As matérias-primas já beneficiadas, juntamente com os aditivos, corantes e água são misturadas em moinhos de bolas por cerca de 2 horas. Em seguida, o esmalte obtido é peneirado e passa por um processo de retirada de metais (através de ímãs) que possam estar presentes nele.

- **Fundição ou conformação por colagem de barbotina:**

O processo de colagem tem início com a preparação dos moldes, na qual utiliza-se talco fino e grosso, além da chamada “água suja”, que é uma mistura de água com massa (barbotina), para facilitar a desmoldagem da peça. Em seguida as formas são fechadas e nelas inseridas através de mangueiras e funis a barbotina, devendo ocorrer o preenchimento de forma contínua para evitar defeitos, como bolhas de ar, por exemplo. Após o completo preenchimento dos moldes, é dado o chamado “tempo de bolão”, sendo o tempo necessário para que a massa adquira a espessura adequada para a peça, esse tempo varia entre 1h30min e 1h50min. Em seguida é feita a drenagem do excesso de barbotina, de modo que escorra toda a massa restante de dentro do molde.

Após as peças adquirirem consistência adequada para que possa ser manuseada, é feito o destacamento, que requer cuidados para que a peça não sofra nenhum tipo de esforço que

possam ocasionar defeitos nela. E por fim, são feitas as furações nas peças e dado o acabamento, retirando as rebarbas e imperfeições na peça ainda verde.

- **Secagem e limpeza:**

Após a etapa de conformação, as peças em geral continuam a conter água, proveniente da preparação da massa. Para evitar tensões e, conseqüentemente, defeitos nas peças, é necessário eliminar essa água, de forma lenta e gradual. Nesta etapa são utilizados secadores intermitentes ou contínuos, a temperaturas variáveis entre 50 °C e 150 °C. O processo de secagem pode ocorrer de forma natural ou artificial. A secagem natural oferece baixo custo, porém tem a desvantagem de ser um processo lento e de conferir baixa qualidade ao corpo cerâmico.

As peças provenientes da fundição manual passam por um processo de secagem mais natural, realizada ao ar livre e que, dependendo das condições da massa, podem ser utilizados ventiladores, enquanto as peças ainda estão sobre as bancadas, essa secagem é realizada por um período de 3 (três) dias. As peças provenientes da fundição mecanizada são destinadas a uma estufa, nas quais permanecem por 5 horas para secarem.

- **Acabamento/Pó:**

Após a etapa anterior, as peças são destinadas ao setor responsável por inspecioná-las, para retirar a poeira presente e observar se há presença de defeitos nas mesmas. Após a inspeção elas são encaminhadas ao setor de esmaltação.

- **Esmaltação:**

É realizado em cabines dotadas de sistemas de exaustão. No processo de esmaltação são monitorados a reologia dos esmaltes e a perícia do operador em executar o processo.

A esmaltação pode ser realizada de modo manual ou automatizada. No caso da esmaltação realizada por robôs, os quais são programados para realizar a esmaltação de acordo com o tipo e modelo de peça, podendo ser controlada a quantidade de camadas de esmaltes que será aplicada, a pressão de saída do esmalte da pistola do robô.

- **Enfornamento/Queima:**

Pode-se dizer que, após este processo, há uma revelação da qualidade de todas as etapas anteriores, pois se houver problemas na massa ou no esmalte, que não foram detectados antes, após a queima serão detectados, visto que os defeitos ou imperfeições ficam totalmente visíveis. Por esse motivo o enfornamento é considerado uma etapa delicada, pois quando queimada a peça não pode ser reprocessada. As peças são inseridas no forno, no qual permanecem por um período de 16 horas.

- **Classificação:**

Após a saída do forno as peças passam pela última fase, que é o setor de classificação do processo de fabricação, nessa etapa elas são inspecionadas para saber se surgiram defeitos pós queima. São verificadas as dimensões e a estética das peças, para que elas possam ser classificadas e receber etiquetas, fita protetora e embalagem.

Caso as peças não estejam de acordo com o padrão necessário, se for um defeito que não há conserto, como rachaduras na peça, por exemplo, as mesmas são descartadas. Se o defeito for de retração de esmalte, por exemplo, há possibilidade de fazer um retoque com uma resina.

Nesse setor, há uma triagem das peças que já estão totalmente prontas, as que necessitam de retoques e as que serão descartadas. Classificando-as também em peças de primeira e segunda linha. Depois da classificação as peças estão prontas e são destinadas ao estoque para que seja realizada a sua comercialização.

### **3.3 Escolha do setor e do equipamento para o estudo**

Como visto anteriormente, o setor de fabricação de massa é o ponto de partida para todo o processo produtivo da empresa. Este setor por ser primordial na empresa, deve estar sempre disponível, para que não ocorra nenhum imprevisto que afete de maneira direta aos clientes finais da empresa.

É sabido que máquinas paradas são capital congelado e que o conserto de máquinas frequentemente não é normal, tanto por ser dispendioso em termos de mão de obra quanto da troca ou ajuste de peças; e ainda, o problema do não funcionamento ao qual o equipamento é destinado.

De acordo com a realidade da empresa, o setor de fabricação de massa é o setor que mais solicita chamadas no setor de manutenção elétrica e mecânica, cerca de 20 a 30 chamadas por mês, ou seja, é um setor que a qualquer momento pode parar algum dos equipamentos e interferir diretamente na produção fabril. Os números de chamadas compreendem os três estágios do setor, que são: a pesagem de material, a moagem e o peneiramento; mas o estágio de moagem detém cerca de 85% dessas chamadas. Sendo assim, o estudo limitou-se ao processo de moagem que é feito por moinhos de bola.

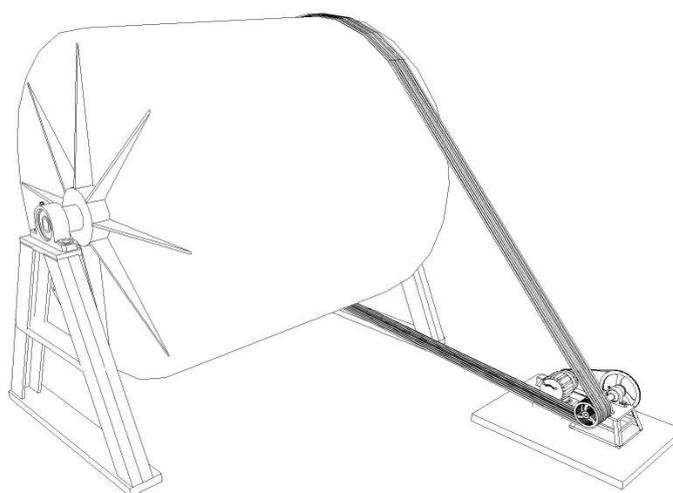
Devido à importância desses equipamentos, estes necessitam de uma disponibilidade e confiabilidade maiores do que os outros equipamentos. Para aumentar esses pontos e minimizar custos, esses equipamentos foram escolhidos como projeto piloto para aplicar-se a Manutenção

Centrada na Confiabilidade na empresa. E ainda, são equipamentos com vida útil avançada e de investimento alto.

Vale ressaltar que o setor de massa é constituído por 17 (dezesete) moinhos de bolas, mas apenas 10 (dez) estão em funcionamento, os quais garantem a produção suficiente de massa para a capacidade produtiva diária. Contudo, caso haja uma parada em um ou mais moinhos, a produção tenderá a ser afetada, pois como já mencionado, este é o processo inicial da fábrica. Os outros 7 (sete) estão parados porque tornaram-se obsoletos.

Os 10 (dez) moinhos são enumerados de 1 (um) a 10 (dez), onde os moinhos 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) possuem capacidade de 18 mil quilogramas (kg) e os moinhos de 4 (quatro) a 10 (dez), a capacidade é de 6,5 mil kg. A velocidade é de 14 (quatorze) a 19 (dezenove) rpm no processo de moagem. Os corpos moedores possuem tamanho limite de 60 (sessenta) mm de diâmetro e são feitas de alumina. O material do revestimento interno é de borracha, para reduzir os impactos dos corpos moedores com o interior do moinho, que ocasionam ruídos e podem danificar a parede do equipamento.

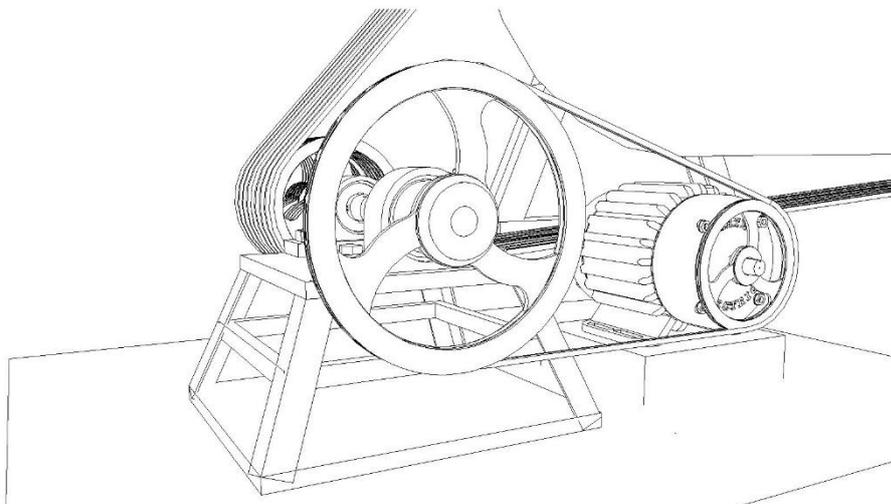
As Figuras 3.2 e 3.3, são a representação esquemática dos moinhos em análise:



*Figura 3.2: Moinho de bolas- vista frontal*

*Fonte: O autor (2017)*

Ainda se justifica a escolha dos moinhos por serem equipamentos que apresentam riscos ambientais e de segurança, visto que o descarte deste tipo de equipamento é impactante ao meio ambiente, devido ao tempo de degradação, e no aspecto de segurança, o peso do equipamento pode ocasionar possíveis acidentes.



*Figura 3.3: Moinho de bolas- detalhamento das polias*

*Fonte: O autor (2017)*

### **3.4 Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade**

A aplicação da metodologia Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), no presente estudo foi realizada em uma indústria de Louças Sanitárias. A empresa é classificada como de grande porte de acordo com o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), tanto pela quantidade de funcionários quanto pela receita anual bruta.

Devido ao tamanho da empresa, o detalhamento e o tempo despendido para que seja implementada a metodologia de forma eficaz, optou-se por escolher apenas um setor da empresa como projeto piloto da Manutenção Centrada na Confiabilidade e posteriormente, expandir tal estudo nos outros setores.

#### **3.4.1 Seleção do sistema e coleta de informações**

O setor que será analisado como piloto foi o de fabricação de massa, a barbotina. Este é o setor que desencadeia todo o processo produtivo da empresa. O processo de fabricação da massa da indústria em estudo é feito por moagem descontínua e por via úmida de minerais e a moagem é feita por moinhos de bolas, foco do presente estudo. Os minerais utilizados para a fabricação da massa são: a argila, o caulim, o quartzo e o feldspato, além da adição de silicato e água.

O estudo é justificado no setor visto que este é o processo que causa mais dependência da fábrica, pois caso haja indisponibilidade não haverá produção, desencadeando uma parada em todos os outros setores. E quanto à manutenção propriamente dita, esta é feita nos moinhos frequentemente, tornando-se bastante custosa, tanto pelo valor monetário quanto no aspecto do tempo em que o profissional despende para fazer os consertos, além de causar uma parada significativa na produção da massa até que o equipamento esteja em perfeito funcionamento. Além de todos esses pontos, o estudo é justificado ainda, para que haja um maior controle e planejamento da manutenção e posteriormente, aplicar a metodologia nos outros setores da fábrica.

Para todo e qualquer estudo, é necessário que exista uma equipe com competências para que o estudo possa ocorrer de maneira correta e com o maior nível de acurácia. A equipe para fomentar a metodologia deve ser multidisciplinar e interessada na propagação da mesma. O comitê do Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), no presente estudo, é constituído por:

- Um facilitador, que acredita nos princípios da MCC e que têm a função de preparar os requisitos para a metodologia;
- A supervisora de produção;
- O supervisor da manutenção mecânica;
- O supervisor da manutenção elétrica;
- Os técnicos de manutenção mecânica e elétrica; e,
- Representantes da segurança.

#### 3.4.1.1 Descrição textual do equipamento

O moinho de bola é usado como ferramenta básica para a moagem e homogeneização da matéria prima, no caso estudado seu funcionamento é da seguinte maneira: um cilindro horizontal gira em torno de seu eixo central em uma velocidade de 14 (quatorze) a 19 (dezenove) rpm, sua movimentação se deve graças a um motor elétrico em conjunto com uma polia, correias e as engrenagens. Os corpos moedores são esferas de alumina com três tamanhos diferentes, sendo a maior com 60 (sessenta) mm. As esferas fazem um movimento parabólico dentro do moinho e então devido as colisões entre as bolas e o material, este se dissipa e torna-se a barbotina.

Algumas das funções secundárias dos moinhos em análise dizem respeito a etapa posterior da moagem, dentre as quais: armazenar a barbotina e a transferência da massa para as peneiras.

O Quadro 3.1, mostra as funções ditas principais e secundárias exercidas pelo moinho.

*Quadro 3.1: Função Principal versus secundária*

<i>Função Principal</i>	<i>Função Secundária</i>
<i>Tornar as partículas menores possíveis</i>	<i>Armazenar temporariamente a barbotina</i>
<i>Deixar um fluido homogêneo</i>	<i>Manter homogênea a mistura</i>
<i>Reprocessamento (Moagem de Scraps)</i>	<i>Transferir a massa para as peneiras</i>

*Fonte: O Autor (2017)*

#### 3.4.1.2 Descrição do Contexto Operacional

O setor de fabricação de massa opera de segunda à sexta em dois turnos e aos sábados, apenas de 6 às 10 horas da manhã. A fabricação da barbotina pode ocorrer de duas maneiras: ou com a matéria virgem, moendo todos os minerais e a água, ou reprocessando o Scrap (material que sobrou do processo produtivo) com água. Como é de se esperar os tempos de processamento são diferentes, para o primeiro tipo de processamento a duração é entre 12 (doze) a 14 (quatorze) horas, e para o Scrap que será reprocessado, cerca de 30 (trinta) ou 40 (quarenta) minutos. Cada moinho é utilizado uma vez por dia para a matéria virgem, e apenas dois moinhos são responsáveis pelo processamento do Scrap, que dependendo da quantidade pode ser de 1 a 2 vezes por dia.

Existem 10 (dez) moinhos no setor, do moinho do 1 (um) ao 3 (três), a carga processada é 18 mil kg e do moinho 4 (quatro) ao 10 (dez), a carga é de 6,5 mil kg. Mas ambos têm seus componentes similares, o que os difere é apenas o tamanho e a localização deles. Assim, para efeito de estudo, ter-se-á apenas um padrão do moinho, mas as funções dos componentes, falhas, modos de falha, efeitos e possíveis soluções poderão ser aplicadas para todos e quaisquer moinhos.

#### 3.4.1.3 Caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas

Uma fronteira serve para limitar e facilitar um estudo, caso não houvesse esta delimitação, no presente estudo, a análise deveria ser feita desde a extração da matéria prima até a entrega para o cliente, sem mencionar no atendimento pós entrega.

Caso a limitação do estudo fosse no setor de fabricação de massa, tornar-se-ia extenso e inaplicável em tempo hábil, assim, o estudo limitou-se apenas ao de fabricação de massa em si, constituído apenas no sistema de moagem. Se o estudo contemplasse todo o setor, ter-se-ia que analisar a pesagem da matéria prima, a alimentação, a moagem, o transporte da barbotina pela mangueira plugada à válvula (final da fronteira em análise) até as peneiras, o processo de

peneiramento, a transferência para os tanques e por fim, os tanques mestres e então seguir para o setor de fundição. Assim, como o foco é o moinho de bolas, o estudo limita-se da alimentação pelo funil até a válvula do moinho. Assim, os subsistemas a serem estudados são o sistema estrutural, mecânico e elétrico do moinho, os quais serão explanados no item a seguir.

A Figura 3.4, abaixo, representa o processo do setor envolvido, buscando mostrar todas as etapas contidas no processo e enfatizar a delimitação do estudo.

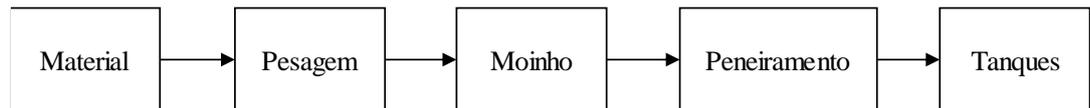


Figura 3.4: Fluxograma do processo de fabricação de massa

Fonte: O autor (2017)

E a definição da fronteira do equipamento inicia-se no ponto de alimentação do moinho, no caso, por funil, até a saída da barbotina, que é a válvula. Esta limitação, deve-se a complexidade do estudo e da robustez do setor. Ficando assim uma proposta para futuros estudos fazer a análise desde a extração da matéria-prima até que esta chegue no setor de fundição.

#### 3.4.1.4 Diagrama Organizacional da hierarquia dos subsistemas e componentes

Moinhos de bola são equipamentos robustos, duráveis e com uma grande capacidade de processamento. Por esses motivos, o equipamento foi dividido em três grupos básicos: sistema elétrico, sistema estrutural e o mecânico, onde cada sistema é interdependente do outro. Essa divisão ocorreu através de um *brainstorming* com a equipe responsável pela Manutenção Centrada na Confiabilidade, de modo a melhorar o entendimento sobre todos os subsistemas e os componentes do moinho.

As funções dos grupos de sistemas segmentados do moinho de bolas são:

- **Elétrico:** Distribuir energia elétrica, iluminar áreas comuns;
- **Mecânico:** Transmitir movimentos, suportar forças;
- **Estrutural:** Impermeabilizar o ambiente, sustentar o equipamento.

A partir da divisão feita dos sistemas, a metodologia recomenda fazer uma hierarquia de subsistemas e seus componentes, de forma a facilitar as análises subsequentes, como mostra a Figura 3.5. Esta divisão foi concebida através da experiência dos membros da equipe da MCC e da literatura.

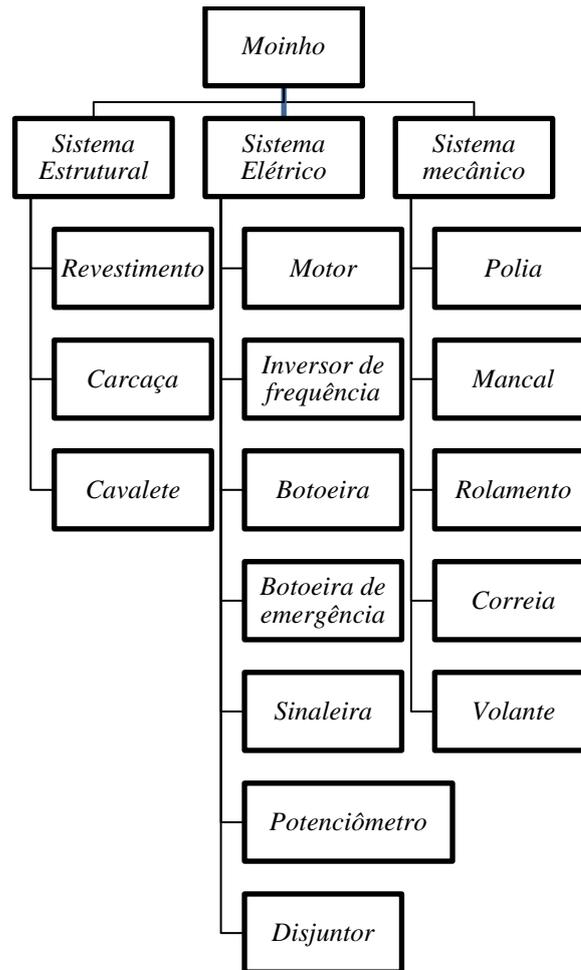


Figura 3.5: Hierarquização dos subsistemas

Fonte: O Autor (2017)

### 3.4.2 Análise de Modos de Falhas e Efeitos

Esta é a etapa mais delicada do estudo, pois as etapas anteriores serviram para dar apoio suficiente para esta fase desenvolver-se de maneira a facilitar o estudo e a partir dos dados coletados nesta seção é que o estudo pode ser de fato implementado de acordo com a realidade fabril, e posto em prática.

A presente seção é concebida através da metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), que consiste na documentação de aspectos provenientes da instalação que são as funções desempenhadas pelo sistema; as falhas associadas a cada função; os modos como as falhas se originam; os efeitos provocados pelas falhas e; a severidade de cada efeito.

As relações entre as funções, os modos de falhas e os efeitos de cada modo de falha foram listadas a partir da observação diária do setor, além dos conhecimentos empíricos dos envolvidos com a metodologia MCC e informações obtidas através da literatura e equipamentos similares.

### 3.4.2.1 Componentes versus Função

O Quadro 3.2 apresenta de forma resumida os componentes com suas respectivas funções:

*Quadro 3.2: Funções dos componentes*

<b>COMPONENTE</b>	<b>FUNÇÃO</b>
<i>Botoeira</i>	<i>Ligar e Desligar o moinho manualmente</i>
<i>Cavalete</i>	<i>Sustentar o moinho</i>
<i>Carcaça</i>	<i>Proteger a parte interna do moinho dos impactos causados pela moagem e da carga pesada</i>
<i>Correia</i>	<i>Transmitir força e movimento</i>
<i>Disjuntor</i>	<i>Proteger e controlar a instalação elétrica</i>
<i>Eixo</i>	<i>Guiar a rotação do moinho</i>
<i>Funil</i>	<i>Alimentar o moinho</i>
<i>Inversor de frequência</i>	<i>Dar partida no motor</i>
	<i>Variar a velocidade do motor</i>
	<i>Proteger o motor de sobretensão e subtensão</i>
<i>Mancal de deslizamento</i>	<i>Apoiar e guiar os eixos do rolamento</i>
<i>Motor elétrico</i>	<i>Converter energia elétrica em mecânica para o moinho funcionar</i>
<i>Polia</i>	<i>Transmitir a tração do motor através da correia</i>
<i>Potenciômetro</i>	<i>Regular/Variar a velocidade do motor</i>
<i>Sinaleira</i>	<i>Sinalizar os estágios do moinho (Pronto para funcionar, em funcionamento ou em modo de falha)</i>
<i>Revestimento interno de borracha</i>	<i>Isolar a parte interna do moinho</i>
	<i>Suportar os impactos do processo de moagem</i>
<i>Rolamento</i>	<i>Minimizar a fricção entre as peças</i>
	<i>Suportar a carga do moinho</i>
<i>Tampa</i>	<i>Fechar a abertura da alimentação do moinho</i>
<i>Válvula</i>	<i>Descarregar o moinho</i>
<i>Volante</i>	<i>Manter o sistema em movimento contínuo</i>
	<i>Regular a velocidade do moinho</i>

*Fonte: O autor (2017)*

### 3.4.2.2 Componente versus Falha versus Efeito da Falha

Definidas as funções de cada componente do sistema, as principais falhas e seus efeitos são documentadas a seguir no Quadro 3.3. Adianta-se logo que um componente pode apresentar mais de um modo de falha por diferentes fatores, ora relacionados com a sua própria natureza, ora com falhas humanas.

Faz-se necessário diferenciar modo de falha, efeito e causa, onde a causa diz respeito ao motivo da função não desempenhar o que o usuário deseja, o modo de falha apresenta o que está acontecendo de errado com o componente e o efeito diz respeito as consequências geradas

quando o modo de falha é detectado. Desse modo, apresenta-se os modos de falhas e os efeitos de cada modo, e na próxima seção, apresenta-se as possíveis causas para cada modo de falha.

Quadro 3.3: Modos de falha e seus efeitos

<i>COMPONENTE</i>	<i>Modo de Falha</i>	<i>Efeito da Falha</i>
<i>Botoeira</i>	<i>Dificuldade para acionar o botão</i>	<i>Ligar/desligar no momento incorreto</i>
<i>Cavalete</i>	<i>Oscilação da estrutura</i>	<i>Falta de estabilidade do equipamento</i>
	<i>Esmagamento do cavalete</i>	<i>Deformação do solo</i>
<i>Carcaça</i>	<i>Fissura</i>	<i>Vazamento da Barbotina</i>
<i>Correia</i>	<i>Aquecimento</i>	<i>Rompimento da Correia</i>
	<i>Distorção da correia</i>	<i>Parada do moinho</i>
	<i>Dificuldade na rotação</i>	
	<i>Fissuras</i>	<i>Diminuição na tensão das correias</i>
	<i>Fragilização</i>	<i>Aspecto pegajoso</i>
<i>Disjuntor</i>	<i>Abre indevidamente</i>	<i>Inoperacional</i>
	<i>Fuga de corrente</i>	
	<i>Não funciona</i>	<i>Queima do disjuntor</i>
<i>Eixo</i>	<i>Diminuição da rotação</i>	<i>Lentidão para moagem</i>
	<i>Rompimento do eixo</i>	<i>Parada do moinho</i>
<i>Funil</i>	<i>Fissura</i>	<i>Vazamento da Matéria-prima</i>
<i>Inversor de frequência</i>	<i>Aquecimento</i>	<i>Queima do inversor</i>
	<i>Sem comunicação</i>	<i>Não agir no momento correto</i>
<i>Mancal de deslizamento</i>	<i>Não funciona</i>	<i>Parada da máquina</i>
<i>Motor elétrico</i>	<i>Aquecimento do motor</i>	<i>Motor inoperante</i>
	<i>Ruído</i>	<i>Motor queimado</i>
<i>Polia</i>	<i>Ruído</i>	<i>Desalinhamento da polia e as correias</i>
	<i>Rachaduras</i>	<i>Movimentação insuficiente</i>
		<i>Desequilíbrio</i>
<i>Potenciômetro</i>	<i>Regulagem incorreta</i>	<i>Velocidade indevida</i>
<i>Sinaleira</i>	<i>Não fornecer informação correta</i>	<i>Não tomar decisão correta</i>
<i>Revestimento interno de borracha</i>	<i>Pedaços do revestimento acoplados a massa</i>	<i>Barbotina não homogênea</i>
	<i>Ruído</i>	<i>Demora na moagem</i>
<i>Rolamento</i>	<i>Descascamento</i>	<i>Ondulações no rolamento</i>
	<i>Aquecimento</i>	<i>Travamento</i>
	<i>Trincas</i>	<i>Dificuldade na movimentação</i>

<i>Tampa</i>	<i>Fechamento inadequado</i>	<i>Vazamento de Material</i>
<i>Válvula</i>	<i>Emperrada</i>	<i>Não descarregar a barbotina</i>
	<i>Fechamento inadequado</i>	<i>Vazamento do material</i>
<i>Volante</i>	<i>Ruído</i>	<i>Não transferir energia para o motor</i>

Fonte: O autor (2017)

### 3.4.2.3 Efeito da Falha versus Severidade

Efeito da falha é o que acontece quando um modo de falha se apresenta. Para que haja uma análise mais eficiente, faz-se necessário estudar e entender os impactos desencadeados pelos modos de falha no equipamento. Para a presente seção ser desenvolvida utilizou-se o estudo do FMEA, uma lista genérica de defeitos, além de colóquios com os operadores, mecânicos, eletricitas e seus respectivos supervisores.

A análise de severidade apresentada é composta da avaliação feita pelos supervisores da manutenção elétrica e mecânica sobre frequência, gravidade e o quão detectável é o modo de falha, em uma escala de 0 (zero) a 10 (dez) para cada aspecto; e logo em seguida, é feito o cálculo de RPN (*Risk Priority Number*), que é a multiplicação das notas obtidas, frequência x gravidade x detectabilidade. O RPN desencadeará a definição das atividades que serão posteriormente aplicadas, além de permitir uma melhor visualização dos resultados pretendidos.

A Tabela 3.1, apresenta de forma objetiva a média da avaliação feita pelos colaboradores sobre frequência, gravidade e detectabilidade de cada modo de falha definido anteriormente.

A definição do intervalo do RPN é subjetivo e para o presente estudo usou-se a lógica de analisar 80% do processo, assim como o RPN máximo é 1000 (um mil) (10(Frequência) x 10 (Gravidade) x 10 (Detectabilidade)), os 20% não analisados estão compreendidos entre 0 (zero) e 199 (cento e noventa e nove). Assim, na Tabela 3.2 estão destacados os RPN's maiores de 200 (duzentos). Com essa restrição, deseja-se evidenciar os itens com maior índice de severidade detectados, de modo que os maiores esforços sejam focados para que exista um melhor acompanhamento e melhores resultados nas ações contra as causas raízes dos problemas.

Tabela 3.1: Modo de falha versus severidade

<b>COMPONENTE</b>	<b>Modo de Falha</b>	<b>FRE</b>	<b>GRA</b>	<b>DEC</b>
Botoeira	Dificuldade para acionar o botão	4	3	9
Cavalete	Oscilação da estrutura	2	8	9
	Esmagamento do cavalete	1	10	10
Carcaça	Fissura	3	4	9

	Aquecimento	9	4	8
	Distorção da correia	7	4	6
Correia	Dificuldade na rotação	6	3	8
	Fissura	7	3	6
	Fragilização	8	4	7
	Abre indevidamente	3	2	9
Disjuntor	Fuga de corrente	3	6	1
	Não funciona	2	7	10
	Diminuição da rotação	5	4	7
Eixo	Rompimento do eixo	7	8	10
Funil	Fissura	7	2	9
	Aquecimento	2	8	7
Inversor de frequência	Sem comunicação	1	8	8
	Travamento do mancal	3	8	10
Mancal de deslizamento	Funcionamento inadequado	3	7	9
	Aquecimento do motor	7	9	8
Motor elétrico	Ruído	8	5	7
	Ruído	3	2	7
Polia	Rachaduras	3	3	5
Potenciômetro	Regulagem incorreta	2	3	9
Sinaleira	Não fornecer informação correta	1	5	1
Revestimento interno de borracha	Pedaços do revestimento acoplados a massa	4	7	8
	Ruído	4	5	7
	Descascamento	9	4	4
Rolamento	Aquecimento	9	5	5
	Trincas	4	4	6
Tampa	Fechamento inadequado	3	2	8
	Emperrada	7	4	8
Válvula	Fechamento inadequado	7	7	9
Volante	Ruído	3	3	7

Fonte: O autor (2017)

A Tabela 3.2, mostra o cálculo do RPN através dos pesos da avaliação da Tabela 3.1.

Tabela 3.2: Modo de falha versus RPN

COMPONENTE	Modo de Falha	RPN
Botoeira	Dificuldade para acionar o botão	108
Cavalete	Oscilação da estrutura	144

	Esmagamento do cavalete	100
Carcaça	Fissura	108
	Aquecimento	288
	Distorção da correia	168
Correia	Dificuldade na rotação	144
	Fissuras	126
	Fragilização	224
Disjuntor	Abre indevidamente	54
	Fuga de corrente	18
	Não funciona	140
Eixo	Diminuição da rotação	140
	Rompimento do eixo	560
Funil	Fissura	126
Inversor de frequência	Aquecimento	112
	Sem comunicação	64
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	240
	Funcionamento inadequado	189
Motor elétrico	Aquecimento do motor	504
	Ruído	280
Polia	Ruído	42
	Rachaduras	45
Potenciômetro	Regulagem incorreta	54
Sinaleira	Não fornecer informação correta	5
Revestimento interno de borracha	Pedaços do revestimento acoplados a massa	224
	Ruído	140
Rolamento	Descascamento	144
	Aquecimento	225
	Trincas	96
Tampa	Fechamento inadequado	48
Válvula	Emperrada	224
	Fechamento inadequado	441
Volante	Ruído	63

Fonte: O autor (2017).

### 3.4.3 Seleção de Funções Significantes

A metodologia MCC define que função significativa diz respeito a falha funcional que acarretam um efeito adverso no sistema principal, seja com consequências na segurança, no meio ambiente, operacionais ou econômicas.

Para que uma função seja considerada significativa é importante observar se suas falhas desencadeiam algum problema relacionado aos pilares da MCC (segurança, meio ambiente, operação e economia do processo), além de analisar se a função já possui proteção dada por alguma tarefa de manutenção já existente.

A lógica de seleção das funções significantes e consequentemente definição das funções não-significantes, feita por Siqueira (2009) é baseada na norma IEC 60300-3-11, a qual será usada também no presente estudo.

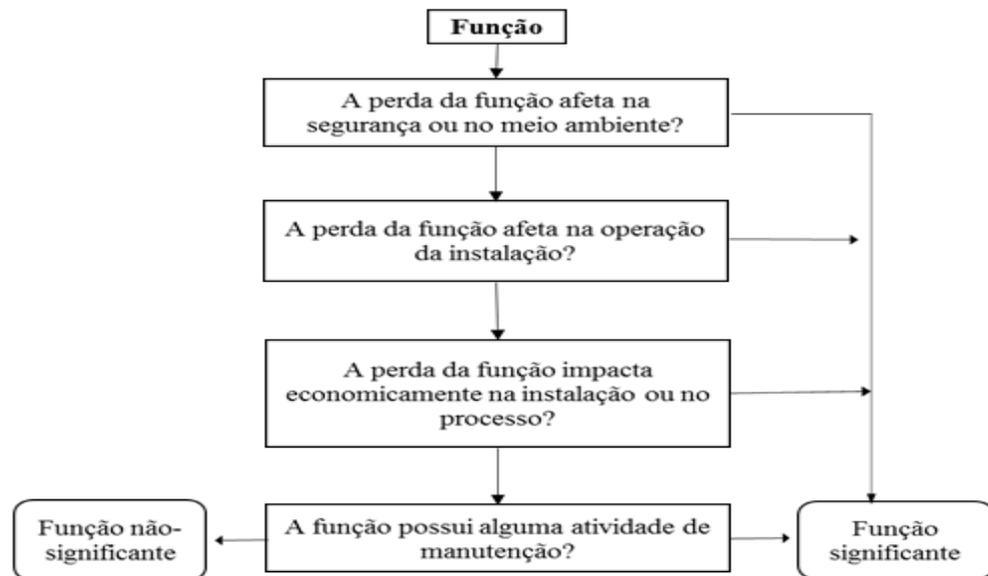


Figura 3.6: Diagrama lógico da seleção

Fonte: Adaptação de Siqueira (2009)

Definida a lógica da seleção e o cálculo do RPN, definiu-se as funções significativas do processo, as quais obtiveram o RPN > 200 (duzentos), causadoras de impactos na segurança, meio ambiente, operacionais ou econômicas, afim de que os esforços sejam concentrados nas funções mais críticas do equipamento. Estas funções estão apresentadas no Quadro 3.4.

Quadro 3.4: Funções significantes

<i>Componente</i>	<i>Modo de Falha</i>
<i>Correia</i>	<i>Aquecimento</i>
	<i>Fragilização</i>
<i>Eixo</i>	<i>Rompimento</i>

<i>Mancal de deslizamento</i>	<i>Travamento do mancal</i>
<i>Motor elétrico</i>	<i>Aquecimento do motor</i>
	<i>Ruído</i>
<i>Revestimento interno</i>	<i>Pedaços do revestimento acoplados a massa</i>
<i>Rolamento</i>	<i>Aquecimento</i>
<i>Válvula</i>	<i>Emperrada</i>
	<i>Fechamento inadequado</i>

Fonte: O autor (2017).

Uma vez definidas as funções significantes, a metodologia MCC defende uma lógica estruturada de um fluxo de decisão baseado em perguntas a respeito das falhas funcionais e os modos de falhas associados a elas.

Dado a importância do diagrama de decisão, o Quadro 3.5 apresenta os componentes do sistema analisado, os modos de falha, e as características da falha, tornando possível categorizar cada modo de falha em quatro grupos, definidos por Siqueira (2009):

- ESA: Segurança/Ambiental Evidente;
- OSA: Segurança/Ambiental Oculta;
- EEO: Operacional/Econômico Evidente, e;
- OEO: Operacional/Econômico Oculta.

A partir do Quadro apresentado, é possível reconhecer o quão impactante é cada modo de falha de acordo com os pilares do MCC. Ressaltando que foram categorizadas apenas as funções significantes e que as funções não significantes ficaram documentadas para futuras análises, se necessário.

Quadro 3.5: Categorização das funções significantes

<i>Componente</i>	<i>Modo de Falha</i>	<i>Visível e Evidente</i>	<i>Segurança/Ambient al</i>	<i>Econômico/Operacion al</i>	<i>Categoria</i>
<i>Correia</i>	<i>Aquecimento</i>	<i>NÃO</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>OEO</i>
	<i>Fragilização</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>
<i>Eixo</i>	<i>Rompimento</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>
<i>Mancal de deslizamento</i>	<i>Não funciona</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>
<i>Motor elétrico</i>	<i>Aquecimento do motor</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>
	<i>Ruído</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>ESA</i>
<i>Revestimento o interno</i>	<i>Pedaços do revestimento acoplados a massa</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>
<i>Rolamento</i>	<i>Aquecimento</i>	<i>NÃO</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>OEO</i>
<i>Válvula</i>	<i>Emperrada</i>	<i>X</i>	<i>NÃO</i>	<i>X</i>	<i>EEO</i>

<i>Fechamento inadequado</i>	X	X	X	<b>EEO/ES A</b>
------------------------------	---	---	---	---------------------

*Fonte: O autor (2017)*

#### 3.4.4 Seleção de Atividades Aplicáveis

Na quarta etapa da implantação da MCC, são determinadas as ações que podem ser tomadas para prevenir e corrigir cada modo de falha das funções significantes; e ainda, diminuir os impactos e consequências dos efeitos dos modos de falhas a níveis aceitáveis.

Segundo a MCC uma atividade de manutenção só é aplicável quando consegue atender pelo menos um dos critérios a seguir:

- Prevenir modos de falha;
- Reduzir a taxa de deterioração;
- Detectar a evolução de falhas;
- Descobrir falhas ocultas;
- Suprir necessidades e consumíveis do processo;
- Reparar o item após a falha.

Siqueira resume os tipos de atividades possíveis de manutenção da MCC em uma ordem de preferência que segue primeiramente as atividades obrigatórias, a primeira, a de menor custo, a segunda, e por fim, as mais dispendiosas. Essas atividades estão listadas a seguir:

- **SO - Serviço Operacional:** tarefas repetitivas, básicas e simples, destinadas ao controle de incidência de falhas e funcionamento do processo;
- **IP - Inspeção Preditiva:** inspeção programada de um item para encontrar indícios específicos de falhas potenciais;
- **RP - Restauração Preventiva:** recuperação do estado de um item antes de uma determinada idade limite;
- **SP - Substituição Preventiva:** remove um item de operação e o substitui antes de uma determinada idade limite;
- **IF - Inspeção Funcional:** inspeção feita em intervalos específicos para identificar a ocorrência de uma falha funcional não evidente para a equipe de operação;
- **MC - Manutenção Corretiva:** restauração não-programada da capacidade funcional de um item, de modo a corrigir defeitos ou potenciais falhas;
- **RF - Reparo Funcional:** recuperação não-programada da funcionalidade de um item, reparação de falhas funcionais já ocorrida, não prevenidas pelas atividades programadas.

Explanados os tipos possíveis de atividades de manutenção a serem aplicados, é necessário atentar-se para os critérios de aplicabilidade para cada atividade. O Quadro 3.6 apresenta tais critérios e na próxima seção será apresentada a definição de efetividade da atividade e seus critérios, para posteriormente unir as duas definições, aplicabilidade e efetividade, para que estejam em consonância com a realidade fabril e assim, aplicar as atividades de manutenção nas funções significantes determinadas nas etapas anteriores.

*Quadro 3.6: Critérios de aplicabilidade para atividades*

<i>Atividades</i>	<i>Aplicabilidade</i>
<i>Serviço Operacional</i>	<i>Deve reduzir a taxa de deterioração funcional e ser especificada no projeto.</i>
<i>Inspeção Preditiva</i>	<i>Deve ser possível a identificação da evolução de falhas e defeitos em operação.</i>
<i>Inspeção Funcional</i>	<i>Deve ser possível identificar ou prever uma deterioração funcional oculta por teste, antes da falha múltipla.</i>
<i>Restauração Preventiva</i>	<i>Item deve mostrar degradação a uma idade identificável, uma proporção alta deve sobreviver àquela idade, e deve ser possível restaurá-lo a um padrão especificado.</i>
<i>Substituição Preventiva</i>	<i>O item deve mostrar degradação a uma idade identificável, uma proporção alta deve sobreviver àquela idade, e ser inviável sua restauração.</i>
<i>Reparo Funcional</i>	<i>Nenhum item anterior consegue prevenir a falha, que não oferece risco à segurança.</i>
<i>Mudança de Projeto</i>	<i>Nenhum item anterior, isoladamente ou em conjunto, consegue identificar/corrigir a falha.</i>
<i>Manutenção Combinada</i>	<i>Nenhum item anterior isoladamente consegue identificar/corrigir a falha.</i>

*Fonte: O autor (2017)*

### 3.4.5 Avaliação da Efetividade das Atividades

Efetividade na linguagem de manutenção significa economia e viabilidade de implantação. As definições da efetividade das atividades de manutenção servem para que haja a consumação das atividades viáveis a realidade da unidade em estudo, pois de nada adianta ter-se atividades que possam ser aplicáveis nos componentes do equipamento, mas que de fato não conseguirão ser validadas no dia a dia da empresa.

Assim como a Manutenção Centrada na Confiabilidade define critérios de aplicabilidade a mesma define critérios de acordo com a efetividade, mas com uma sutil diferença: na

aplicabilidade, um dos critérios precisa ser atendido, já para a efetividade, todos os critérios devem ser atendidos simultaneamente, são eles:

- Ser aplicável tecnicamente;
- Ser viável com os recursos disponíveis;
- Produzir os resultados esperados; e
- Ser executável a um intervalo razoável.

Da mesma forma que a etapa anterior define atividades de manutenção da perspectiva de aplicabilidade, as mesmas atividades são listas nesta seção, contudo a sua abordagem é na efetividade de atividades de acordo com as óticas de segurança, operação e economicidade. O Quadro 3.7 apresenta os critérios de efetividade de acordo com os pilares da MCC.

*Quadro 3.7: Critérios de efetividade*

<i>Atividades</i>	<i>Efetividade</i>		
	<i>Segurança</i>	<i>Operacional</i>	<i>Econômico</i>
<i>Serviço Operacional</i>	<i>Tarefa deve reduzir o risco de falha.</i>	<i>Tarefa deve reduzir o risco de falha a nível aceitável.</i>	<i>Tarefa deve ter custo reduzido.</i>
<i>Inspeção Preditiva</i>	<i>Tarefa deve reduzir a probabilidade ou risco de falha para garantir a operação segura.</i>	<i>Tarefa deve reduzir o risco de falha a nível aceitável.</i>	<i>Tarefa deve ter custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.</i>
<i>Inspeção Funcional</i>	<i>Tarefa deve detectar falhas ocultas para reduzir o risco de falhas múltiplas.</i>	<i>Em geral não é aplicável. Tarefa deve detectar falhas ocultas para evitar transtornos operacionais e ter custo reduzido.</i>	<i>Tarefa deve detectar falhas ocultas para evitar efeitos econômicos e ter custo reduzido.</i>
<i>Restauração Preventiva</i>	<i>Tarefa deve reduzir a probabilidade ou risco de falha para garantir a operação segura.</i>	<i>Tarefa deve reduzir o risco de falha a nível aceitável.</i>	<i>Tarefa deve ter custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.</i>
<i>Substituição Preventiva</i>	<i>Tarefa deve reduzir a probabilidade ou risco de falha para garantir a operação segura.</i>	<i>Tarefa deve reduzir o risco de falha a nível aceitável.</i>	<i>Tarefa deve ter custo reduzido, menor que o custo da falha evitada.</i>
<i>Manutenção Combinada</i>	<i>Combinação de tarefas deve reduzir o risco ou probabilidade da falha.</i>	<i>Combinação de tarefas deve reduzir o risco operacional a nível aceitável.</i>	<i>Combinação de tarefas deve ter custo reduzido, menor que a falha.</i>

<i>Mudança de Projeto</i>	<i>Combinação de tarefas incapaz de reduzir o risco da falha.</i>	<i>Combinação de tarefas não consegue reduzir o risco a nível aceitável.</i>	<i>Combinação de tarefas deve ter custo superior ao da falha.</i>
---------------------------	-------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

*Fonte: Siqueira (2009)*

Definidos os critérios de aplicabilidade e efetividade, a próxima etapa resume e finaliza a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade selecionando as atividades de manutenção que são aplicáveis e efetivas simultaneamente.

### 3.4.6 Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas

Para a seleção das tarefas aplicáveis e efetivas para cada modo de falha, deve-se atentar-se para as atividades que maximizem a economia e operação do processo, respeitando as restrições de segurança e meio ambiente. A decisão de quais tarefas poderiam ser escolhidas foram tomadas em consonância com o comitê da Manutenção Centrada na Confiabilidade, desde a engenheira de produção até os representantes da segurança do trabalho, assim englobou-se todas as atividades de acordo com as diferentes visões dos setores.

O Quadro 3.8 apresenta quais as atividades de manutenção que deverão ser aplicadas para cada subsistema e seus respectivos modos de falhas; as tarefas; e, a periodicidade de tais atividades de acordo com estudos de equipamentos similares, pois para a etapa da determinação de periodicidade faz-se necessário mais tempo do que o disponível para o estudo além de auxílio de programas computacionais. A mesma Tabela resumiu de modo simplificado os itens mais críticos dos moinhos de bolas identificados ao longo das etapas anteriores da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), a definição de periodicidade; as atividades; e as tarefas das manutenções foram ditadas conforme a metodologia apresentada por Siqueira (2009), dados técnicos e conhecimentos empíricos do comitê MCC, agregando ainda mais a complementação da metodologia.

Quadro 3.8: Atividades aplicáveis e efetivas

Componete	Modo de Falha	Categoria	Atividades Possíveis						Tarefas Propostas	Periodicidade
			S O	I F	I P	R P	S P	M C		
Correia	Aquecimento	<b>OEO</b>	X			X	X	Verificar o nível de lubrificação	Semanal	
	Fragilização	<b>EEO</b>	X			X	X	Análise de vibração	Quinzenal	
								Realizar inspeção de ruídos	Mensal	
								Análise de vibração	Quinzenal	
Eixo	Rompimento	<b>EEO</b>				X	Realizar análise do estado das superfícies	Mensal		
							Verificar nível de óleo	Semanal		
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	<b>EEO</b>				X	Realizar inspeção de lubrificação	Semanal		
	Motor elétrico	Aquecimento do motor	<b>EEO</b>	X	X	X	Realizar inspeção visual	Semanal		
Análise de vibração							Quinzenal			
Medir de tensão e corrente							Semanal			
Revestimento interno	Ruído	<b>ESA</b>	X	X	X	Realizar inspeção termográfica	Bimestral			
						Realizar inspeção visual do revestimento	Quinzenal			
Rolamento	Aquecimento	<b>OEO</b>	X	X			Realizar inspeção de ruídos	Mensal		
							Análise de vibração	Quinzenal		
							Realizar análise do estado das superfícies	Mensal		
Válvula	Emperrada	<b>EEO</b>				X	X	Verificar nível de óleo	Semanal	
								Realizar inspeção de lubrificação	Semanal	

Fonte: O autor (2017)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente estudo é uma proposta de implantação de uma metodologia e para que os resultados sejam os mais realísticos possíveis, mostrando seus efeitos de forma mais confiável e precisa, faz-se necessário que haja um intervalo de tempo satisfatório de aplicação do método e a adequação dos colaboradores com as atividades propostas. Mas o presente trabalho devido a um curto prazo de tempo apresenta os resultados provindos de 30 (trinta) dias de aplicação da MCC.

A empresa, como dito anteriormente, não possuía nenhum tipo de documentação sobre manutenção, desde manuais de funcionamento dos moinhos até dados históricos de funcionamento do equipamento e suas paradas para manutenção ou até mesmo ociosidade de cada equipamento.

Então para sanar o problema da falta de dados histórico propôs-se a implantação de Ordens de Serviço, como mostra a Figura 4.1, para as manutenções mecânica e elétrica, tanto para o setor de massa quanto para os outros setores da empresa.

Ordem de Serviço	
Mão de Obra:	Início da ocorrência: __/__/____ Início do conserto: __/__/____ Hora: __: __ Final do conserto: __/__/____ Hora: __: __
Setor:	Equipamento:
Ocorrência:	
Descrição do serviço:	
Causa/Possíveis Causas:	
Observações:	

Figura 4.1: Ordem de serviço - OS

Fonte: O autor (2017)

Assim, as ordens de serviço coletam as informações sobre o setor que solicitou o serviço, o equipamento, o tempo em que este ficou sem funcionar, o tempo gasto para o conserto, quem fez o serviço, qual tipo de ocorrência, a descrição do serviço, as possíveis causas do problema e ainda um espaço para observações.

Para a análise do trabalho, foram documentadas as ordens de serviço no setor de fabricação de massa tanto antes da implantação da MCC quanto com a aplicação da mesma. Apenas com esses dados é que se torna possível uma comparação do antes da aplicação da MCC com o que ocorreu a partir da implantação da metodologia.

As fases da metodologia foram explanadas no capítulo anterior. Após a aplicação da metodologia, iniciou-se a fase da coleta de dados acerca dos resultados obtidos através da metodologia. Mesmo com um período curto de análise foi possível identificar alguns resultados no setor de fabricação de massa.

Abaixo, apresenta-se o comparativo das solicitações de manutenção dos moinhos no mês de abril, ou seja, no mês antes da implantação da MCC e do mês de maio, mês que houve a implantação da metodologia, e em seguida uma discussão sobre as informações contidas no Quadro sobre a realidade fabril.

A Tabela 4.1 faz um comparativo entre o número de solicitações de manutenções, elétrica e mecânica, de cada moinho, mostrando uma redução de 35,29% no número de solicitações, ou seja, houve uma redução bastante significativa no número de falhas de cada equipamento. Isso ocorre porque os colaboradores adiantam-se as causas dos modos de falha do equipamento, prezando pela vistoria e manutenção das funções fazendo que os modos de falhas tardem a aparecer ou até mesmo sejam evitados.

*Tabela 4.1: Solicitações de Manutenção antes e depois da MCC*

	<i>Número de Solicitações</i>	
	<i>Antes da MCC</i>	<i>Depois da MCC</i>
<i>Moinho 1</i>	5	3
<i>Moinho 2</i>	3	0
<i>Moinho 3</i>	3	1
<i>Moinho 4</i>	2	0
<i>Moinho 5</i>	1	0
<i>Moinho 6</i>	1	0
<i>Moinho 7</i>	0	2
<i>Moinho 8</i>	1	0
<i>Moinho 9</i>	0	0
<i>Moinho 10</i>	1	0
<i>TOTAL</i>	17	6

*Fonte: O autor (2017)*

Abaixo, na Tabela 4.2, são apresentados os problemas mais típicos e o número de vezes das recorrências nas solicitações de atendimento das manutenções de capa tipo de problema, além de mostrar a redução de problemas em cada tipo de intervenção. A redução do número de

problemas é proveniente da antecipação e das tarefas de manutenção, propostas no capítulo anterior, para evitar ou amenizar os possíveis problemas em cada item do moinho.

*Tabela 4.2: Detalhamento das manutenções*

<i>Tipos de solicitações</i>	<i>Antes da MCC</i>	<i>Depois da MCC</i>	<i>% de Redução</i>
<i>Correias</i>	<i>11</i>	<i>4</i>	<i>63,64%</i>
<i>Rolamentos</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>50%</i>
<i>Eixo</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>66,67%</i>
<i>Vazamento de Massa</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>100%</i>

*Fonte: O autor (2017)*

Ainda através das informações obtidas pelas Ordens de Serviço é possível analisar-se o número de horas em que cada moinho ficou parado, desde o momento em que a falha foi detectada até o instante em que o moinho voltou a sua funcionalidade plena, a Tabela 4.3 mostra esta análise.

*Tabela 4.3: Tempo de parada dos moinhos*

	<i>Tempo de Parada</i>	
	<i>ANTES DA MCC</i>	<i>DEPOIS DA MCC</i>
<i>Moinho 1</i>	<i>9</i>	<i>13</i>
<i>Moinho 2</i>	<i>1,5</i>	<i>0</i>
<i>Moinho 3</i>	<i>2</i>	<i>7</i>
<i>Moinho 4</i>	<i>5,5</i>	<i>0</i>
<i>Moinho 5</i>	<i>2</i>	<i>0</i>
<i>Moinho 6</i>	<i>103,5</i>	<i>0</i>
<i>Moinho 7</i>	<i>0</i>	<i>35</i>
<i>Moinho 10</i>	<i>24,5</i>	<i>0</i>
<i>Total</i>	<i>148</i>	<i>55</i>

*Fonte: O autor (2017)*

A partir da constatação do número de horas paradas de cada moinho e os custos necessários para que o mesmo volte a funcionar é possível fazer uma análise de custos simples, que será apresentada logo abaixo na Tabela 4.4. Vale ressaltar que a comparação do tempo em que os moinhos ficaram parados, diz respeito apenas ao tempo de não funcionamento por paradas não programadas, não contabilizando o tempo das tarefas propostas pela MCC no comparativo das horas paradas no mês de maio.

Tabela 4.4: Custos provindos de manutenções antes da MCC

	Moinho 1	Moinho 2	Moinho 3	Moinho 4	Moinho 5	Moinho 6	Moinho 10	Total
<i>Horas Paradas</i>	1.926	321	428	1.177	428	22.149	5.243	31.672
<i>Correias</i>	111	0	18	14	0	0	0	143
<i>Motor</i>	0	0	0	18.000	0	0	0	18.000
<i>Eixo</i>	0	0	0	0	0	884,93	0	884,93
<i>Rolamento</i>	0	0	0	0	0	0	280	280
<i>Outros Materiais</i>	30	15	20	40	15	15	20	155
<b>TOTAL</b>	<b>2.067</b>	<b>336</b>	<b>466</b>	<b>19.231</b>	<b>443</b>	<b>23.048,93</b>	<b>5.543</b>	<b>51.134,93</b>

Fonte: O autor (2017)

A Tabela 4.4 mostra de forma simplificada os custos despendidos para cada moinho detalhadamente. O custo de horas paradas diz respeito a não produção de massa em tal tempo, que por sua vez é de R\$: 214,00/hora, de acordo com informações do custo por litro de massa. O valor gasto com as correias está de forma bruta, pois existem diversos tipos de correias: B-95, D345, entre outras, então optou-se por colocar o valor bruto e não distinguir quais correias foram compradas; o valor do motor, diz respeito a uma troca por um motor novo e não um simples reajuste; os valores do rolamento e do eixo, assim como do motor, é de itens novos, porém de 2° linha; e por fim, os outros materiais, dizem respeito a oxigênio, gás Mig, material para solda, entre outros.

Constata-se então que só para a manutenção dos moinhos do setor de massa foram destinados R\$: 51.134,93 reais, apenas no mês de abril, e vale ressaltar que foi um gasto com medidas paliativas, não atacando de fato as causas raízes dos problemas nos equipamentos. Enfatiza-se ainda, que os maiores custos com os moinhos dizem respeito ao número de horas paradas do objeto em estudo, comprovando assim, que equipamento parado é capital congelado. Como a empresa não possuía nenhum tipo de documentação sobre os estados dos moinhos, informações sobre manutenção e nem uma contabilização de horas paradas, eles nunca se atentaram para este aspecto de suma importância. Além de que a cultura da empresa era de “consertar apenas quando quebrar”, assim, um estudo sobre manutenção ficava em segundo plano sempre.

Abaixo, apresenta-se uma análise sobre os custos da manutenção após a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade, da mesma forma que foi realizada na Tabela 4.4, para haver veracidade na comparação do antes e do depois da metodologia. Através da Tabela 4.3, constatou-se uma redução 93 horas no item de horas paradas entre os meses de abril e maio, onde o primeiro passou 148 horas paradas e o segundo 55 horas, convertendo para custos, como mostra a Tabela 4.5, houve uma redução de R\$: 19.902 reais no custo de horas paradas; um houve um aumento de R\$: 166,89 reais nas correias; o valor do motor e do eixo continuaram

iguais; uma diminuição de R\$: 85,00 reais de outros materiais e após a MCC não foi necessário trocar nenhum rolamento, ou seja, deixou de gastar R\$: 280,00 reais.

*Tabela 4.5: Custos provindos de manutenções após a MCC*

	<i>Moinho 1</i>	<i>Moinho 3</i>	<i>Moinho 7</i>	<i>Total</i>
<i>Horas</i>	2782	1498	7490	11770
<i>Paradas</i>				
<i>Correias</i>	18	0	291,89	309,89
<i>Motor</i>	0	18.000	0	18.000
<i>Eixo</i>	884,93	0	0	884,93
<i>Outros</i>	15	40	15	70
<b><i>TOTAL</i></b>	<b>3699,93</b>	<b>19538</b>	<b>7796,89</b>	<b>31034,82</b>

*Fonte: O autor (2017)*

De um modo geral, após a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em um mês (Tabela 4.5), o gasto destinado ao setor foi reduzido em 39,31%, ou seja, R\$: 20.100,11 reais.

A partir de todos esses dados é possível afirmar que a aplicação da metodologia conseguiu aumentar a confiabilidade do processo, uma vez que o tempo de parada dos moinhos reduziu bem como o número de falhas. Através da metodologia a empresa atentou-se ao fato da necessidade de um maior planejamento de manutenção tanto em todo o setor de massa quanto na empresa como um todo, além de confirmar a necessidade da criação de um almoxarifado de peças sobressalentes para a manutenção dos moinhos e para toda a empresa.

A metodologia MCC ainda passará por uma evolução interna na empresa de modo que a melhoria continua seja um dos pilares para a construção de uma Manutenção realmente Centrada na Confiabilidade.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O mercado consumidor torna-se mais exigente a todo o momento. Consequentemente, as empresas precisam se adequar às estratégias que aprimoram seus ganhos internos. Visando isso, a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade foi escolhida para ser implementada neste trabalho, e neste capítulo são apresentadas as conclusões e análise de todo o trabalho.

### **5.1 Vantagens e contribuições**

O presente estudo conseguiu suprir as expectativas na implementação da metodologia como mostra os dados do capítulo anterior, como redução de custos na manutenção, aumento de disponibilidade dos moinhos de bola bem como a confiabilidade no setor de fabricação de massa. Graças ao entrosamento e à busca dos colaboradores em melhorar continuamente os processos da empresa, a Manutenção Centrada na Confiabilidade conseguiu se desenvolver rapidamente e de forma estimuladora para todos os envolvidos, mesmo com as primeiras resistências e falta de conhecimento dos colaboradores.

A partir do que foi visto no trabalho, observa-se a importância de um estudo sobre manutenção em uma empresa, o quanto esta pode deixar de gastar ao tomar atitudes simples como as tarefas propostas, a lubrificação dos itens ou medição dos níveis de ruído.

Dentre outras vantagens tem-se que o custo de realizar a MCC foi o mínimo possível, modificando apenas a ordem de tempo do trabalho dos operadores e mecânicos, pois ao invés de esperar a falha ocorrer irão antecipar-se para evitá-la. Isso despenderá um certo tempo de trabalho e paradas nos moinhos, mas serão programadas. Além disso, em relação ao número de horas paradas não programadas, será irrisório.

Quanto a receptividade da empresa com a metodologia, foi a melhor possível. Houve um forte incentivo por parte dos superiores, em especial da engenheira de produção; a interação de todos os colaboradores e desejo da continuidade da metodologia para melhores resultados.

### **5.2 Limitações**

As maiores limitações encontradas para a realização da implantação da metodologia dizem à respeito da escassez de dados literários sobre o tema no setor de louças sanitárias; a falta de documentos históricos sobre as manutenções dos moinhos; desconhecimento da metodologia por parte dos colaboradores; falta de um almoxarifado eficiente na empresa e ainda a falta de documentação sobre custos; e pouco tempo para uma melhor análise dos benefícios da Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada aos moinhos de bola.

### 5.3 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros sugere-se:

- A implantação do sétimo passo da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que devido o tempo e a falta de softwares não pode ser colocado em prática;
- Uma medição após um ano da implantação da metodologia, para medir a real eficiência da mesma;
- Utilizar um software específico para a MCC e em conjunto, uma ferramenta que analise a causa raiz de cada falha ou utilizar uma abordagem multicritério para deixar o estudo com mais robustez;
- Fazer uma análise profunda sobre os índices de manutenção, como o tempo médio entre as falhas e o tempo médio para reparo, de modo a auxiliar e otimizar a periodicidade da execução das atividades propostas;
- Proporcionar treinamento a todos os setores sobre a importância da metodologia, pois todos os colaboradores entenderão e poderão contribuir para a melhoria da manutenção, e;
- Por fim, expandir a metodologia nos outros setores bem como criar um almoxarifado que dê todo o suporte necessário ao setor de manutenção.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. T.; GARCEZ, T. V.; LINS, P. H. C.; ALENCAR M. H.; CAVALCANTE C.A.V. **Uma análise da aplicação da metodologia MCC em uma usina termoeétrica do nordeste do Brasil.** In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP. Belo Horizonte- MG, 2011.
- ARNO, R.; DOWLING, N.; FAIRFAX, S.; SCHUERGER, R. J. WEBER, J. **What is RCM and how could it be applied to the Critical Loads?** IEEE Transactions on Industry Applications, v. 51, n. 3, p. 2045–2053, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994.
- BERALDO, J. L. **Moagem de minérios em moinhos tubulares.** 1ª ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1987.
- CAETANO, L. C.; LOBOSCO, A.; ARCARI, V. A. **Implantação da ferramenta da qualidade FMEA (análise de modos e efeitos da falha) no processo de Fabricação de medicamentos orais sólidos em uma Indústria farmacêutica veterinária.** In: Anais do IV SINGEP. São Paulo – SP, 2015.
- CALIL, S.F. **Propriedades Reológicas de Barbotinas de Algumas Argilas e Caulins Brasileiros Utilizados em Cerâmica Sanitária.** 1972. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo - SP.
- CALLISTER, JR. W. D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC Ltda, 2002.
- CATAFESTA, J.; ANDREOLA, R.; PEROTTONI, C. A.; ZORZI, J. E. **Colagem de barbotina de aluminas submicrométricas comerciais.** Revista Cerâmica, v. 53, p. 30-31, 2007.
- CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios; Britagem, Peneiramento e Moagem – Volume 3.** 1ª ed. São Paulo: Signus Editora/Brasil Mineral, 2003.
- FARIA, J. G. A. **Administração da Manutenção: Sistema P.I.S.** São Paulo. Editora Edgard Blucher, 1994.
- KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

- LEÃO, N. S. M.; ANDRADE, J. J. O. **Aplicação da FMEA e análise de falhas em um equipamento de trafilagem para estabelecimento de estratégias de manutenção: estudo de caso.** Revista Espacios, vol 36, nº 8, p. 01, 2015.
- LOPES, R. S.; BANDEIRA, M. H. C; COSTA, D. A. **Estudo da Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a um sistema de refrigeração.** In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP. João Pessoa – PB, 2016.
- LUCATELLI, V.; OJEDA, R. G. **Proposta de aplicação da MCC em estabelecimentos assistenciais de saúde.** In: II Congresso Latino-americano de Ingeniería Biomédica. Habana- Cuba, 2001.
- MEDEIROS, P. S.S. de. **Avaliação das Propriedades da Barbotina Utilizada na Produção de Grés Sanitários.** Relatório de estágio integrado da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2012. p. 53.
- MENEGHINI, C.; ZAIONS, D. R. **A Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a um sistema de embalagem de presunto de uma indústria alimentícia-** In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP. João Pessoa – PB, 2016.
- MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a Gerência da Manutenção Industrial.** São Paulo: EBRAS, 1989.
- MORAES, P. H. A. **Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de Taubaté: UNITAU. Taubaté - SP.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition.** 2ª ed. New York: Industrial Press Inc, 1997.
- NORTON, F.H. 1973. **Introdução à tecnologia cerâmica.** Trad. SOUZA, J. V. São Paulo. Ed. Edgar Blücher Ltda, 1973.
- OLIVEIRA, A.P.N. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos.** Revista Cerâmica Industrial, v. 5, n. 6, p. 37-47, 2000.
- RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance.** Reliability Engineering and System Safety, n. 60, 1998.
- SILVA, R. H. de L. **Incorporação de resíduo pós-sinterização da indústria de cerâmica hidro sanitária à sua própria formulação.** Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco -Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru – PE, 2012.
- SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** 1ª (Reimpressão) ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

- SIQUEIRA, I.P.; ALMEIDA, A. T. **Gestão da Manutenção: na direção da Competitividade**. Recife. Editora Universitária/UFPE, 2001.
- SLACK N.; CHAMBERS, S.; HARRISON, A.; JHONSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo. Editora Atlas, 2006.
- SMITH, A.M.; HINCHCLIFFE, G.R. **Four features used to define RCM**. Maintenance Connection in Plant Engineering, 2006.
- SOUZA, J. B; SACOMANO, J. B.; KYRILLOS, S. L.; MILREU, F. J. S. **Indicadores de desempenho da função manutenção: um enfoque em aciarias brasileiras**. Revista GEPROS, Ano 7, nº 3, jul-set/2012.
- SOUZA, A. M. **Implantação de um programa de manutenção Centrada na confiabilidade no setor de utilidades da BRF brasil foods unidade Paranaguá**. 2012. Dissertação (Especialização em Confiabilidade). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.
- TAYNARA BARROS MOREIRA, T. B.; SILVA, D. P.; BEZERRA, P. H. R.; CARVALHO, W.J. S. **Proposta de aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade no desenvolvimento do plano estratégico da manutenção: um estudo de caso**. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP. João Pessoa-PB, 2016.
- WIKOF, D. **Reliability-Centered-Maintenance**. Maintenance Engineering Handbook. United States of America. Editora McGraw-Hill Companies, 2008.
- XENOS, H. G. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte. Editora de desenvolvimento gerencial, 1998.