



CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PARÁ - CESUPA
ESCOLA DE NEGÓCIOS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - ARGO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RODRIGO DE SOUZA COSTA
THAYANE NASCIMENTO DE AZEVEDO

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA METALÚRGICA**

BELÉM
2019



RODRIGO DE SOUZA COSTA
THAYANE NASCIMENTO DE AZEVEDO

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA METALÚRGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação - ARGO do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na modalidade MONOGRAFIA.

Orientador: Msc. Marcelo Pinto da Costa
Mendes

BELÉM
2019



RODRIGO DE SOUZA COSTA
THAYANE NASCIMENTO DE AZEVEDO

**PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE EM UMA METALÚRGICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Negócios, Tecnologia e Inovação - ARGO do Centro Universitário do Estado do Pará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção na modalidade MONOGRAFIA.

Data da aprovação: / /

Rodrigo de Souza Costa: _____

Thayane Nascimento de Azevedo: _____

Banca examinadora

Prof. Msc. Marcelo Pinto da Costa Mendes
Orientador e Presidente da banca

Prof. Dr. Cláudio Luciano da Rocha Conde
Examinador interno

Prof. Dr. Júlio César dos Santos Patrício
Examinador interno

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por me fornecerem confiança, amor e carinho; me incentivarem a buscar o conhecimento por meio do estudo e; ter força e coragem para vencer todas as dificuldades enfrentadas antes e durante os anos do curso de graduação. Agradeço também a minha namorada por me proporcionar a inspiração para correr atrás de objetivos que eram vistos como impossíveis e que esteve sempre ao meu lado me dando forças nos momentos que pensei em desistir.

Os meus sinceros e emocionados agradecimentos a minha parceira de trabalho de conclusão de curso (Thay) que me ajudou a realizar um sonho de criança e me proporcionou muitos momentos de alegria e risadas e, por me ajudar a ser uma pessoa melhor. Agradeço aos meus colegas e amigos de trabalho que de certa forma contribuíram para realização dessa etapa na minha vida.

Agradeço ao professor e mestre Marcelo Mendes por nos orientar e se mostrar disponível para a realização do trabalho. Bem como aos demais professores do curso e funcionários do Cesupa, todos vocês fazem parte dessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por conceder-me força e amparo para realização desta conquista, guiando-me para que eu pudesse chegar até aqui. A minha mãe, pelo apoio incondicional, confiança, conselhos e incentivos ao longo desses anos. Aos meus familiares, pelo afeto e solidariedade. Sou grata também pelos amigos que entenderam minhas ausências e permaneceram ao meu lado.

Agradeço a minha dupla de trabalho de conclusão, Rodrigo Costa, por toda sua dedicação e parceria para o desenvolvimento desta dissertação. Obrigada por dividir comigo as dificuldades e conquistas para a realização desta graduação. Sua amizade e incentivo durante o curso contribuíram para tornar este resultado ainda mais gratificante.

Ao orientador Marcelo Mendes, por todo auxílio na elaboração desta monografia e pelos seus ensinamentos em sala de aula. Aos participantes da banca examinadora: Cláudio Conde e Júlio Patrício, que aceitaram contribuir com seus conhecimentos para a avaliação deste trabalho.

A todos os mestres do curso de Engenharia de Produção que estiveram presentes ao longo deste percurso, compartilhando seus saberes e experiências. Ao Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, pelo seu comprometimento com a qualidade no ensino que colaborou positivamente para o meu crescimento profissional. Muito obrigada a todos os envolvidos direta e indiretamente para esta conquista.

“Enxergar o fim desde o começo”

(Márcio Fernandes)

RESUMO

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma metodologia utilizada para assegurar que todos os componentes de um ativo ou sistema operacional tenham as suas funções preservadas, sua condição de uso com segurança, qualidade, economia, e desempenho sem degradar o meio ambiente. Este trabalho tem por objetivo propor a implementação da MCC nos itens críticos da Lingoteira no setor de fundição de uma metalúrgica, a fim de mitigar os modos de falhas e aumentar a confiabilidade do processo. As etapas do presente estudo foram organizadas em: (i) coleta de dados do primeiro semestre de 2018 e 2019 nos relatórios diários de produção e paradas; (ii) acompanhamento e filtragem das informações; (iii) determinação do objeto de estudo; (iv) descrição do processo de lingotamento; (v) investigação nos subconjuntos da Lingoteira; (vi) determinação do subconjunto alvo; (vii) observação in loco; (viii) construção e análise do FMEA; (ix) cálculos dos índices de MTBF, MTTR, Disponibilidade, Taxa de falhas, Probabilidade e confiabilidade do equipamento e (x) proposta de um plano de manutenção eficaz e eficiente. Dessa maneira, comprovou-se que a Lingoteira 2 em estudo, apresentou em ambos os anos o maior número de eventos de paradas no subconjunto de empilhamento, tendo como uma das causas principais o excesso de velocidade na operacionalização da máquina e desajuste no sensor de proximidade relacionados a falta de inspeções e manutenções preventivas adequadas. O plano de manutenção proposto pela Manutenção Centrada em Confiabilidade visa aumentar a confiabilidade e a produtividade da máquina e, auxiliar o setor de fundição na tomada de decisão.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Plano de manutenção. Lingotes.

ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a methodology used to ensure that all components of an asset or operating system have their functions preserved, their condition of safe use, quality, economy, and performance without degrading the environment. This paper aims to propose the implementation of RCM on critical machine Casting items in the metallurgical foundry sector, in order to mitigate failure modes and increase process reliability. The stages of the present study were organized into: (i) data collection from the first half of 2018 and 2019 in daily production and shutdown reports; (ii) monitoring and filtering of information; (iii) determination of the object of study; (iv) description of the casting process; (v) investigation into machine mold subsets; (vi) determination of the target subset; (vii) observation on site; (viii) construction and analysis of FMEA; (ix) calculations of MTBF, MTTR, Availability, Failure Rate, Probability and Reliability of equipment indices and (x) proposal of an effective and efficient maintenance plan. In this way, it was proved that the machine 2 under study presented in both years the largest number of stopping events in the stacking subset, having as one of the main causes the speed of the machine operation and mismatch in the proximity sensor related to lack of proper inspections and preventive maintenance. The maintenance plan proposed by Reliability Centered Maintenance aims to increase machine reliability and productivity and assist the foundry industry in decision making.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. Maintenance plan. Ingots

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de Pareto.....	30
Figura 2 - Procedimentos Metodológicos.....	35
Figura 3 - Forno de Espera	38
Figura 4 - Caminhão Metal Trailer.....	39
Figura 5 - Lingotamento	39
Figura 6 - Transportador transversal	40
Figura 7 - Área de Empilhamento	40
Figura 8 - Pilhas de lingotes de alumínio	41
Figura 9 - Pátio final de Estocagem.....	41
Figura 10 - Posicionador.....	45
Figura 11 - Girador de lingotes.....	45
Figura 12 - Garra e mesa de lingotes	46
Figura 13 - Transportador de pilhas	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados para o cálculo do MTBF do 1º semestre de 2018.....	54
Tabela 2 – Tempo médio entre falhas do 1º semestre de 2018	54
Tabela 3 – Dados para o cálculo do MTBF do 1º semestre de 2019.....	55
Tabela 4 – Tempo médio entre falhas do 1º semestre de 2019	55
Tabela 5 – Manutenções corretivas na Lingoteira 2 no 1º semestre de 2018.....	56
Tabela 6 – Tempo médio para reparo do 1º semestre de 2018.....	56
Tabela 7 – Manutenções corretivas na Lingoteira 2 no 1º semestre de 2019.....	57
Tabela 8 – Tempo médio para reparo do 1º semestre de 2019.....	57
Tabela 9 – Disponibilidade da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2018	57
Tabela 10 – Disponibilidade da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2019	58
Tabela 11 – Taxa de falhas da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2018.....	58
Tabela 12 – Taxa de falhas da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2019.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de paradas por máquina no 1º semestre de 2018 e 2019.....	42
Gráfico 2 - Paradas por subconjunto da Lingoteira 2 no 1º semestre de 2018.....	43
Gráfico 3 - Paradas por subconjunto da Lingoteira 2 no 1º semestre de 2019.....	44
Gráfico 4 – Probabilidades de falhas no 1º semestre de 2018 na Lingoteira 2	60
Gráfico 5 – Probabilidades de falhas no 1º semestre de 2019 na Lingoteira 2	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do índice de ocorrência	49
Quadro 2 - Classificação do índice de severidade	49
Quadro 3 - Classificação do índice de detecção	50
Quadro 4 – Representação do FMEA.....	52
Quadro 5 – Representação do plano de manutenção.....	65

LISTA DE SIGLAS

DE – Disponibilidade do Equipamento

FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MPT – Manutenção Produtiva Total

MTBF – *Mean Time Before Failure*

MTTR – *Mean Time To Repair*

RPN – *Risk Priority Number*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA.....	17
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO.....	18
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 MANUTENÇÃO	22
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	22
2.2.1 Manutenção Corretiva	22
2.2.2 Manutenção Preventiva	23
2.2.3 Manutenção Preditiva	24
2.3 CONFIABILIDADE.....	24
2.4 TAXA DE FALHA.....	25
2.5 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS	25
2.6 TEMPO MÉDIO PARA REPAROS	26
2.7 DISPONIBILIDADE	26
2.4 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES.....	27
2.3.1 Distribuição de Poisson	27
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.....	28
2.6 MÉTODO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS	29
2.7 DIAGRAMA DE PARETO.....	30
2.9 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL.....	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	33
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	34
3.2.1 Procedimentos de coleta	35
3.2.2 Procedimentos de análise	35
3.3 LÓCUS DA PESQUISA.....	36
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	38

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	38
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS	42
4.3 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO E DO SUBCONJUNTO.....	42
4.3.1 Subconjunto de empilhamento.....	45
4.4 OBSERVAÇÃO <i>IN LOCO</i>	47
4.5 ELABORAÇÃO DO FMEA	48
4.5.1 Avaliação de risco das falhas.....	48
4.5.2 Representação do FMEA.....	51
5 CÁLCULOS	54
5.1 CÁLCULO DO ÍNDICE MTBF	54
5.2 CÁLCULO DO ÍNDICE MTTR	56
5.3 CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE (DE)	57
5.4 CÁLCULO DA TAXA DE FALHAS (λ)	58
5.5 CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE FALHAS (P).....	59
5.6 CÁLCULO DA CONFIABILIDADE (R).....	61
6 ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	63
6.1 PLANO DE MANUTENÇÃO	64
7 COMENTÁRIOS FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE A - PROBABILIDADES DE FALHAS NA LINGOTEIRA 02 NO 1º SEMESTRE DE 2018.....	73
APÊNDICE B - PROBABILIDADES DE FALHAS NA LINGOTEIRA 02 NO 1º SEMESTRE DE 2019.....	74

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a manutenção tem se tornado mais importante, principalmente, em função do maior fluxo de informações, onde existem contínuas modificações nos cenários produtivos mundiais, nos quais os ganhos com a produtividade, por menor que sejam, são obrigatórios para sua sobrevivência. A maior competição entre as organizações acarreta na necessidade de produzir com mais qualidade sem aumentar os custos (OHTA, 2014).

Kersten (2014) complementa que as empresas estão sendo desafiadas a adotar metodologias de manutenção eficientes com a capacidade de assegurar a confiabilidade de seus equipamentos, a fim de elevar sua vida útil, para então proporcionar maior disponibilidade, assegurando sua qualidade, além de alcançar parâmetros bastante almejados pelas organizações: redução de custo e aumento da lucratividade.

De acordo com Oliveira (2017), é necessário o entendimento de que a gestão da manutenção serve para auxiliar a organização a obter um melhor desempenho produtivo, em uma busca constante pela excelência e não somente para otimizar o tempo e custo com atividades de manutenção. Diante desse cenário, Xavier (2015) argumenta que há necessidade das empresas constituírem uma equipe de estratégia de gestão com o objetivo de alcançar aumento da disponibilidade e confiabilidade de seus ativos.

Segundo Almeida (2018), manutenção não atua só em máquinas e equipamentos, atua também na concepção de um projeto, pois as formas como as peças estão dispostas, a facilidade de acesso dos conjuntos pelo mecânico, bem como o dimensionamento das peças e componentes devem obedecer aos critérios para facilitar as operações de manutenções futuras.

Nesse sentido, Xavier (2015) argumenta que o setor de manutenção está gradativamente, sendo visto como uma atividade estratégica nas organizações, uma vez que sua principal missão é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção, com foco em confiabilidade, disponibilidade, segurança, preservação do meio ambiente, custo adequado e motivação.

Diante do exposto e em relação aos métodos de manutenção, Pereira (2009) afirma que a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma metodologia utilizada para assegurar que todos os componentes de um ativo ou sistema operacional tenham as seguintes características: suas funções preservadas, sua condição de uso com segurança, qualidade, economia, e desempenho sem degradar o meio ambiente.

O presente estudo foi elaborado no setor de manutenção da área de fundição de uma empresa do ramo metalúrgico, situada na região do município de Barcarena-Pa. Para investigação, escolheu-se a Lingoteira, pois a mesma é responsável pela produção de lingotes de alumínio primário no formato de pilhas que variam de 940 kg a 1040 kg e, que percorrem quatro subconjuntos principais: Lingotamento e Transporte de Moldes, Desmoldamento, Classificação e Empilhamento.

1.1 SITUAÇÃO PROBLEMA

O histórico da manutenção no setor de fundição da Empresa X, tem-se como características os aspectos preventivos e, principalmente, o corretivo, graças a contínua produção de lingotes de alumínio primário para atender a demanda dos clientes no mercado interno e externo.

O atual plano de manutenção do setor de fundição da Empresa X, se caracteriza por manutenções preventivas que são realizadas de segunda a sexta feira, sendo que em cada dia citado anteriormente, escolhe-se uma das cinco máquinas para a manutenção. Uma empresa terceirizada executa os serviços de limpeza devido ao processo, enquanto os mecânicos da Empresa X fazem os demais serviços como lubrificação, recuperação de peças e ajustes nos sensores do equipamento.

Em relação as manutenções corretivas, as mesmas são exercidas pelos mecânicos e eletricitistas das turmas que trabalham em regime de turno. Tais profissionais acompanham as turmas em diferentes horários de trabalho para assegurar que, em caso de parada das máquinas, as mesmas voltem a exercer suas funções o mais rápido possível para não atrapalhar o andamento do processo produtivo.

Devido essas características, a manutenção tem sustentado até o presente momento a operacionalidade das máquinas de lingotamento, mas torna-se necessário o aperfeiçoamento sobre o atual modelo de gestão de manutenção que perdura por mais de 30 anos de operacionalização da companhia no Estado do Pará.

Neste contexto, torna-se importante ressaltar informações históricas a respeito da manutenção das máquinas na área de fundição, como o fato de algumas ocorrências de acidentes ocasionadas por interação entre operários e máquinas e, pela razão do setor abordado na pesquisa ser o último do processo e responsável pela produção dos lingotes. Como efeito das ocorrências de acidentes e pausa na continuidade do processo, tem-se a

diminuição da produtividade e paradas com intervalos de tempo longos para conserto dos equipamentos.

Assim sendo, o argumento de proposição da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade no setor de fundição da Empresa X, almeja atender à necessidade atual da gerência de manutenção de forma a garantir a disponibilidade e confiabilidade dos itens considerados críticos, além de manifestar-se como ótima estratégia de gestão de ativos.

Dentro desse contexto, outros trabalhos abordam a implantação da MCC, como observa-se no estudo de Torres e Almeida (2018) que identificam os equipamentos críticos e implantam um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade nos chillers em uma fábrica de dutos flexíveis responsáveis pelo resfriamento nas extrusoras, gerando uma grande melhoria na função manutenção e na qualidade da operação.

Baran *et al.* (2013), descrevem o desenvolvimento de um modelo de implantação da MCC, aplicado na redução de falhas funcionais de um Sistema de Controle de Tensão, por meio da escolha dos componentes críticos e identificação das atividades de manutenção. Neste estudo, os autores concluíram que a implantação da MCC se apresentou como uma ferramenta eficaz na redução de modos de falhas específicos de um sistema e na manutenção desse resultado.

Oliveira (2017) desenvolve um trabalho no setor de laminação de uma siderúrgica a partir da aplicação da MCC, os resultados evidenciaram a importância de entender o funcionamento de todo o sistema, bem como suas possíveis falhas, tornando possível tomar decisões assertivas, gerando cada vez mais benefícios para a organização. Diante do exposto, o presente trabalho buscará responder a seguinte questão-problema: Como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) pode auxiliar na tomada de decisão gerencial do setor de manutenção da área de fundição da Empresa X?

1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

Abaixo serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos em que este estudo será pautado.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor a aplicação da metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) no setor de fundição de uma metalúrgica em Barcarena-Pa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar a performance de quatro máquinas;
- Tratar das informações referentes às paradas não programadas dos equipamentos;
- Identificar as falhas e consequências do equipamento com maior criticidade;
- Analisar os modos e efeitos das falhas (FMEA);
- Determinar confiabilidade dos equipamentos por meio de análise estatística;
- Propor um plano de manutenção para o primeiro semestre de 2020.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Por meio da análise da Manutenção Centrada na Confiabilidade, tem-se a identificação do grau de confiabilidade das Lingoteiras, no qual a empresa, objeto de estudo, poderá reduzir a manifestação de manutenções corretivas, visto que tais ocorrências ocasionam retardos no andamento do processo produtivo de alumínio primário, além de alto custo para o setor de fundição.

Tal fato ocorre por deficiências no planejamento das manutenções preventivas ao longo das semanas, visto que não há investigações sobre a origem das causas das paradas nas máquinas nem monitoramento por parte dos profissionais de manutenção no decorrer do processo produtivo. Logo, os mecânicos e eletricitistas do regime de turno se tornam os principais alvos para a realização das manutenções corretivas, culminando em excesso de trabalho; atrasos na linha de produção; divergências entre áreas da empresa e, em algumas vezes, até acidentes no ambiente de trabalho.

Tais ações e medidas podem ser vistas em outros trabalhos a respeito da aplicação da metodologia baseada na MCC. Por meio da Manutenção Centrada na Confiabilidade, Cerveira e Sellitto (2015) definem uma estratégia de manutenção para um forno elétrico a indução, instalado em uma fundição de aços especiais e determinam a melhor estratégia de manutenção.

Além disso, Souza (2016) propõe a implementação da MCC em uma empresa de calcinação para aumentar a confiabilidade da Ensacadeira, reduzir os custos com manutenções corretivas e aumentar a produtividade de cal hidratada ensacada. Tal estudo permitiu ampliar os conhecimentos sobre o contexto operacional, identificar as principais causas das falhas e seus efeitos e identificar os componentes críticos da Ensacadeira.

Mediante a observação da rotina de trabalho do setor de fundição da Empresa X, identificou-se a oportunidade de propor a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade, em razão da necessidade de analisar o nível de confiabilidade dos equipamentos para tomadas de decisões assertivas no nível estratégico.

Como o setor de fundição da Empresa X possui quatro máquinas idênticas responsáveis pela confecção do produto final e podem exibir problemas no funcionamento a qualquer momento, nota-se a importância de encontrar meios de restringir a perda de tempo e diminuir os altos gastos com insumos para amenizar o agravamento destes. Dessa maneira, a utilização da metodologia MCC para preservar a função do sistema, mostra-se com finalidade de ajudar a companhia a eliminar e prevenir defeitos e causas, para que não ocorram prejuízos (ALMEIDA, 2018).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto por sete capítulos, no primeiro deles apresenta-se a introdução a respeito do assunto abordado, de modo a contextualizar a manutenção de forma geral e mostrar seu valor dentro da gestão estratégica corporativa. Seguido da situação problema; objetivo geral e específico e justificativa da pesquisa.

O segundo capítulo é reservado apresentação do referencial teórico sobre a manutenção na indústria e os princípios teóricos da Manutenção Centrada na Confiabilidade. Nele, retrata-se a importância da sua função estratégica nas empresas modernas e sua evolução do decorrer dos tempos sob enfoque de diversos autores da área.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, a explicação das etapas de realização da pesquisa a partir da obtenção de dados e informações no setor de gerência da manutenção, assim como a caracterização da empresa e o setor de aplicação da pesquisa.

Apresentam-se no quarto capítulo as seguintes etapas dos procedimentos metodológicos: escolha do equipamento e subconjunto com maior criticidade para

manutenção, o mapeamento dos subsistemas e seus modos de falhas, como também o desenvolvimento do FMEA. No quinto capítulo será apresentado a etapa dos cálculos da disponibilidade, confiabilidade e probabilidade de falha.

O sexto capítulo será constituído com a análise dos resultados e elaboração da proposta de um plano de manutenção. Em seguida, expõem-se o sétimo capítulo com as considerações finais e sugestões para trabalhos futuro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo deste capítulo serão abordados os tópicos considerados de suma importância para o embasamento teórico deste trabalho. Tais quais são: Manutenção; Tipos de Manutenção; Confiabilidade; Manutenção Centrada em Confiabilidade; Distribuição de Probabilidades; Distribuição de Poisson; Análise FMEA; Diagrama de Pareto e Manutenção Produtiva Total.

2.1 MANUTENÇÃO

Segundo Almeida (2014), entende-se por manutenção a reunião de precauções e mecanismos técnicos utilizados para o funcionamento correto e além do reparo de equipamentos, máquinas, ferramentas, peças e moldes. O autor explica que a palavra manutenção, derivada do latim *manus tenere*, significa “manter o que se tem”, também é definida de diferentes maneiras por muitos órgãos certificadores e normalizadores, porém sempre enfatizando a preocupação com o bom funcionamento das máquinas e dos equipamentos, principalmente no sistema produtivo.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção podem ser divididos nos seguintes subtópicos: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. Dessa forma, apresenta-se a abaixo os fundamentos teóricos para as técnicas supracitadas.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Para Almeida (2018) a manutenção corretiva decorre na presença de paradas inesperadas. O autor ressalta ainda que neste tipo de manutenção tem-se um atendimento imediato realizado junto à produção, ou seja, assim que um equipamento ou máquina para, a equipe de manutenção atua no conserto.

Mattos e Másculo (2019), elucidam que a manutenção corretiva é uma técnica reativa, ou seja, espera a máquina ou equipamento falhar, para então ser tomada qualquer decisão

sobre a manutenção. Além disso, os autores ressaltam que na prática empresarial tal técnica é pouco utilizada por completo, uma vez que sempre há um pouco de técnicas preventivas simples, tais como: lubrificação e ajustes de máquinas. Contudo os grandes reparos são apenas realizados quando a máquina falha.

Em relação à máquina, Almeida (2018), resalta sua importância ao argumentar que quando a mesma está em produção é responsável por garantir o cumprimento de prazos de entrega, dessa maneira é a precisão que garante a qualidade e a confiabilidade do produto, contribuindo para a arrecadação de recursos financeiros.

2.2.2 Manutenção Preventiva

Prata (2014) afirma que a manutenção preventiva é realizada em períodos de tempo pré-estabelecidos ou de acordo com parâmetros prescritos com o objetivo de diminuir a probabilidade de quebra ou de deterioração do funcionamento de um ativo. O mesmo autor finaliza relatando que esta manutenção evita perdas significativas de rendimento.

A manutenção preventiva tem o seguinte conceito: é a manutenção tramada e monitorada, exercidas em datas predeterminadas. O autor resalta ainda que tal manutenção tem o objetivo de manter em condições adequadas, as máquinas ou equipamentos, de maneira a evitar paradas imprevistas (ALMEIDA, 2018).

Mattos e Másculo (2019), explicam um dos problemas da manutenção preventiva que consiste na variabilidade da vida operacional de cada máquina de acordo com sua utilização, ou seja, pode acontecer da manutenção ocorrer de forma desnecessária, bem antes de a máquina apresentar algum problema, ou ao contrário, a máquina pode falhar antes do previsto e uma manutenção corretiva será necessária.

A manutenção preventiva é a atuação realizada nas máquinas e equipamentos para reduzir falhas ou quedas no desempenho, com o objetivo de eliminar os problemas que acarretam em condição insegura e em acidentes (MALPAGA, 2009). Para isso deve-se seguir um planejamento, que segundo Almeida (2018), deve ser embasado nas documentações das operações de manutenção corretivas realizadas, com informações sobre a vida útil das peças.

2.2.3 Manutenção Preditiva

Segundo Prata (2014) a manutenção preditiva é um método usado para prognosticar com alguma fiabilidade, falhas de determinados itens ou sistemas, que autoriza que se tomem medidas preventivas ou corretivas por meio de um plano, e antes que o sinistro se concretize. Tal tipo de manutenção permite a otimização das intervenções conforme a análise das condições das máquinas e equipamentos.

Tal conceito é complementado por Almeida (2018), ao afirmar que a manutenção preditiva se baseia em vistorias frequentes, durante as quais eventos como temperatura, vibração, ruídos excessivos são visualizados através de ferramentas específicas. Tais inspeções permitem indicar a vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo seja bem aproveitado.

Diante desses conceitos, Prata (2014) reforça que a manutenção preditiva é uma técnica que facilita o aumento significativo da produtividade e funcionalidade de máquinas e sistemas com custos relativamente baixos face às vantagens inerentes a estas tecnologias. E que uma adequada integração dos resultados das estratégias preditivas ao plano de manutenção assegurará uma mais-valia para os ativos e equipes associadas.

2.3 CONFIABILIDADE

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade está relacionada com perfeita operacionalização de um sistema ou produto, sem a ocorrência de falhas ou quebras. Tal afirmação é admitida por Beck (2019), segundo o autor a confiabilidade é a probabilidade de que não haja falhas no sistema, dentro do ciclo de vida especificado e de acordo com as circunstâncias de operação do projeto.

Dias (2017), define confiabilidade como uma palavra autoexplicativa, ou seja, pessoa, sistema ou equipamento que se pode contar, digno de cumprir o que promete em um determinado período de tempo e sem o uso irregular dos ativos. A confiabilidade é considerada o verídico parâmetro de desempenho da qualidade de alguma coisa, de modo a estipular um limite de utilização conveniente de algo e que pode perdurar além do retorno do capital. (VERRI, 2010).

Segundo Sanches (2010), a confiabilidade de uma máquina ou equipamento pode ser expressa por meio de uma distribuição exponencial constituída de taxa de falhas constante da seguinte forma:

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

Onde:

- $R(t)$ = Confiabilidade a qualquer tempo t ;
- λ = Taxa de falhas;
- t = Tempo de projeção;
- e = Base do logaritmo natural $\approx 2,7183$

2.4 TAXA DE FALHA

A taxa de falhas λ é determinada por um erro em um item que implicará no defeito de todo o sistema e, julga especificidades do componente (SANCHES, 2010). Sendo calculada por meio de seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (2)$$

Onde:

- $\text{MTBF} = \text{Mean Time Before Failure}$

2.5 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS

O indicador de desempenho Tempo Médio entre Falhas (TMEF), do inglês *Mean Time Before Failure* (MTBF) é a razão entre a soma das horas disponíveis do equipamento para operação e o número de intervenções corretivas neste equipamento no período (LAUGENI; MARTINS, 2017). E pode ser definida pela seguinte expressão:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{HD}}{\text{NC}} \quad (3)$$

Onde:

- HD = Horas disponíveis;
- NC = Número de intervenções corretivas.

2.6 TEMPO MÉDIO PARA REPAROS

O indicador de desempenho Tempo Médio para Reparos do inglês *Mean Time To Repair* (MTTR), segundo Gaio (2016) está relacionado à facilidade de um item em receber ou não manutenções. O autor complementa que para medir este indicador somam-se os valores de tempo observados sem a ocorrência de reparos. Segundo Meyer (2013), pode ser definida pela seguinte expressão matemática:

$$MTTR = \frac{HIM}{NC} \quad (4)$$

Onde:

- HIM = Total de horas de indisponibilidade para manutenção;
- NC = Número de intervenções corretivas.

A partir da análise das definições supracitadas, constata-se a importância do conhecimento e aplicação da confiabilidade nos processos produtivos das empresas, com foco no desempenho dos sistemas e máquinas em uso, para que a ocorrência de falhas seja mínima possível, de modo a não dificultar o alcance da produtividade e, conseqüentemente, qualidade dos produtos oferecidos.

2.7 DISPONIBILIDADE

A disponibilidade informa sobre a probabilidade de que um dado equipamento esteja disponível para operação, dado que foi requisitado (SANTOS E SELLITO, 2016). Gaio (2016) afirma que a disponibilidade é o reflexo direto de todas as ações da manutenção, pois seu cálculo leva em consideração a quantidade de falhas e o tempo de reparo dos equipamentos. Matematicamente, é definida pela equação:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- $MTBF = \text{Mean Time Before Failure}$
- $MTTR = \text{Mean Time To Repair}$

2.4 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES

De acordo com Dantas (2013), o arranjo de probabilidade da variável aleatória X , determinada em um espaço amostral S , é um quadro que relaciona cada valor de X a sua probabilidade. Spiegel, Schiller e Srinivasan (2016) acrescentam que a variável aleatória, igualmente conhecida como variável estocástica, é qualificada por uma letra maiúscula como X ou Y , e pode expressar um número finito ou infinito de valores contáveis chamada de variável aleatória discreta.

Diante disso, pode-se dizer que os valores assumidos por X são encontrados ao acaso, ou seja, os valores dos dados surgem de forma aleatória sem uma determinação prévia e podem ser listados como, por exemplo, contagem do número de ligações recebidas por dia em um escritório. Dentro das variáveis aleatórias discretas pode-se encontrar vários tipos de distribuições como Poisson, Geométrica, Pascal, Hipergeométrica e Multinomial.

Devido às particularidades do sistema a ser investigado no presente trabalho, a distribuição que melhor se adapta é a distribuição de Poisson, que será apresentada no decorrer do trabalho.

2.3.1 Distribuição de Poisson

De acordo com Meyer (2013), a distribuição de Poisson retrata um modelo probabilístico adequado para uma ampla quantidade de números de fenômenos aleatórios observáveis, sendo caracterizada como de extrema importância. Montgomery e Runger (2012), complementam que o processo de Poisson é utilizado para propor a observação de um sistema ao longo do tempo, além da aplicação a intervalos tais como tempo e espaço.

Bussab e Morettin (2010), afirmam que a distribuição de Poisson é amplamente aplicada quando há intenção de contabilizar o número de vezes que um fato de certo tipo ocorre em um intervalo de tempo, espaço, superfície ou volume. Pinker (2013), acrescenta que em um processo de Poisson, os fatos decorrem de forma ininterrupta, aleatoriamente e independentemente uns dos outros.

Segundo Meyer (2013), a equação de Poisson é dada por:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (6)$$

Onde:

- λ = Taxa de ocorrência;
- E = Base do logaritmo natural $\approx 2,7183$;
- n = Número de ocorrências do evento;
- t = Intervalo de tempo.

Apoiando-se nesses conceitos, o processo de Poisson é uma distribuição de probabilidade discreta que consiste no cálculo do número de vezes, x , que um determinado evento ocorre em um espaço de tempo. Ainda convém lembrar que, a probabilidade do evento ocorrer é a mesma para cada intervalo e o número de ocorrências nesse intervalo é independente do número de ocorrências em outro intervalo.

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

De acordo com Almeida (2014), a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) teve sua origem associada ao progresso da automação industrial; avanço da informática e meios de comunicação e, às pesquisas bélicas americanas após a Segunda Guerra Mundial. Moreira e Massarani (2017) acrescentam que as autoridades aeronáuticas americanas elevaram o nível de exigências no atendimento da aviação comercial (*Type Certification*), tornando inviável a manutenção praticada na época. Tal fato culminou na origem da metodologia MCC, tendo como primeira aplicação na linha de aeronaves da Boeing 747.

Senai-SP (2014) afirma que a MCC é um sistema de manutenção buscado pelas organizações para detectar atividades de manutenções preventivas essenciais, a fim de garantir a confiabilidade e segurança com menor custo. Viana (2016) complementa que a Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma evolução da manutenção tradicional e pode ser ampliada além da análise de falhas em máquinas, para problemas de base logística e gestão de peças proeminentes.

Conforme Pereira (2009), a MCC estabelece: (i) diminuição de manutenções preventivas nos equipamentos; (ii) diminuição da probabilidade de acontecimentos de falhas; (iii) redução da taxa de falhas por meio da manutenção preventiva; (iv) preservação das funções das máquinas a um menor custo e (v) uso do Método dos Modos de Falhas e seus Efeitos.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a Manutenção Centrada na Confiabilidade pode ser interpretada como um programa que certifica que as máquinas de um setor fabril cumprirão com suas funções pré-estabelecidas, pelo fato de ser composta de várias técnicas de engenharia. Ainda segundo os autores, a MCC tem como bases: (i) Envolvimento da equipe de manutenção com operação; (ii) foco nos estudos dos efeitos das falhas; (iii) extensão das análises em relação a custos, segurança e meio ambiente e (iv) confronto a falhas ocultas.

De acordo com os autores citados acima, percebe-se a importância da Manutenção Centrada na Confiabilidade e os benefícios que essa metodologia pode trazer para as organizações. De modo a identificar e concentrar esforços da gerência de manutenção nos pontos críticos dos problemas, impedindo dessa forma, gastos com fatores irrelevantes e momentos dispensáveis.

2.6 MÉTODO DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

O método de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), segundo Rozenfeld *et al.* (2006), é uma ferramenta que busca, de forma geral, evitar falhas no projeto do produto ou do processo ao realizar análises das falhas potenciais e propor ações de melhorias. Assi (2019) acrescenta que tal ferramenta é usada, originalmente, nas atividades industriais, para controlar seus riscos operacionais. Filho *et al.* (2011) reforçam tais conceitos ao relatar que o FMEA é uma técnica analítica utilizada na identificação e documentação, de forma sistemática, das falhas em potencial, a fim de eliminá-las ou reduzir sua ocorrência por meio de um processo de aplicação estruturado.

Segundo Rojas (2015), o FMEA possui os seguintes objetivos: (i) Julgar o defeito potencial e suas implicações; (ii) Reconhecer atitudes que restringem ou extinguem tais efeitos e (iii) Evidenciar a análise. O FMEA necessita de um planejamento realizado pelo responsável pela aplicação da metodologia e compreende: (i) “Descrição dos objetivos e abrangência da análise”; (ii) “Formação dos grupos de trabalho”; (iii) “Planejamento das reuniões” e (iv) “Preparação da documentação” (OLIVEIRA; HU, 2018, p.76).

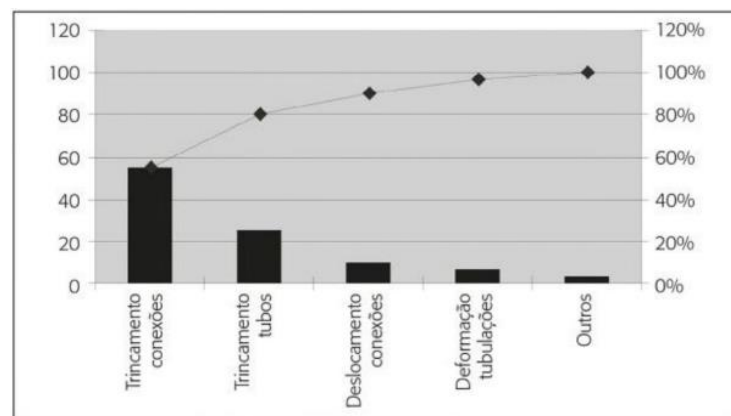
Após a obtenção do modo de falha, há a definição quanto a sua severidade, ocorrência e detectabilidade, qualificados com valores de 1 a 10 conforme as suas características. O produto desses valores gera um Número de Prioridade de Risco (RPN), do inglês *Risk Priority Numbers*. Após a determinação do RPN são reconhecidas as causas fundamentais dos modos de falha, para proposição de ações mitigadoras.

2.7 DIAGRAMA DE PARETO

Para Vieira (2014), o Diagrama de Pareto é um gráfico organizado em barras da maior para a menor, possui no eixo horizontal os tipos de perdas ou falhas e no eixo vertical, a quantia desperdiçada, de modo que a sequência das barras exiba a importância relativa das perdas. O gráfico foi criado com intuito de estudar as perdas na indústria, de modo a organizá-las em ordem de frequência.

O Diagrama de Pareto (Figura 1) também conhecido como método ABC ou 20-80%, declara que a grande maioria dos problemas são oriundas de um número pequeno de causas e, pode ser utilizado para outros fins como, por exemplo, em serviços ou para implantação de melhorias (ROJAS, 2014).

Figura 1 - Diagrama de Pareto



Fonte: Mendes (2014)

O Diagrama de Pareto tem como uma das principais características o filtro de dados e identificação de áreas chaves de exploração adicional. Sua formulação determina o efeito cumulativo dos componentes individuais em ordem descendente e, contribui para a identificação de itens que pouco agregam aos objetivos da empresa (MEEHAN *et. al.*, 2011).

Para Rojas (2014), o Diagrama de Pareto pode ser elaborado de modo sistemático seguindo tais passos: (i) Definir o tipo de problema a ser estudado; (ii) Identificar e listar as possíveis causas; (iii) Coletar dados e registrar a frequência de ocorrência; (iv) Ordenar em ordem decrescente os motivos pelas respectivas frequências; (v) Elaborar um diagrama de barras e (vi) Desenhar a curva acumulada (curva de Pareto).

2.9 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

Bertaglia (2017), diz que a Manutenção Produtiva Total (MPT), do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM) é um programa interno de suma importância para a melhoria contínua, uma vez que incrementa a utilização de equipamentos e conscientização das atividades dos operadores. O autor afirma também que o MPT aborda todo o ciclo produtivo e estabelece um sistema de chão de fábrica que visa a prevenção de perdas ao eliminar acidentes, defeitos e paradas de máquinas.

Em relação ao seu surgimento, Justa (2016) relata que a MPT se iniciou nos meados do ano de 1971, por meio da cristalização de técnicas de manutenção preventiva, manutenção do sistema de produção, prevenção da manutenção e engenharia de confiabilidade, com o objetivo de alcançar à falha zero, à quebra zero das máquinas, como também defeito zero nos produtos e à perda zero no processo.

Fogliatto e Ribeiro (2009) argumentam que a Manutenção Produtiva Total é considerada como um avanço da manutenção corretiva para a manutenção preventiva. Os autores relatam ainda que os conceitos tradicionais da manutenção foram expandidos pela MPT a fim de incorporar esforços na busca de evitar defeitos de qualidade gerados pelo desgaste e mau funcionamento dos equipamentos.

Antunes *et al.* (2013), complementam que a Manutenção Produtiva Total propõe um gerenciamento que busca envolver todos os colaboradores de uma organização, a fim de garantir o funcionamento dos postos de trabalho. Segundo os autores, quanto a responsabilidade dos operadores: (i) lubrificação; (ii) limpeza e (iii) pequenos reparos e, da equipe de manutenção: (i) consertos; (ii) reformas e (iii) melhorias dos equipamentos, se unem na busca desse objetivo comum, tem-se como resultado aumento do tempo efetivo de produção dos equipamentos.

Ainda em relação aos objetivos da MPT, Justa (2016) acrescenta que a mesma tem o propósito de potencializar a eficiência do sistema de produção. Com o objetivo de eliminar

todas as perdas, bem como maximizar o ciclo total de vida útil dos equipamentos, ao abranger todos os equipamentos da empresa e envolver todos os funcionários.

Diante das considerações sobre a Manutenção Produtiva Total supracitadas, conclui-se que sua importância consiste na busca do aumento da eficiência operacional, ao propor uma gestão que visa total integração entre homem e máquina, a fim de alcançar melhorias contínuas na utilização dos equipamentos como também no manuseio e cuidados dos mesmos por parte dos colaboradores.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, será exposto a metodologia utilizada na pesquisa, os procedimentos metodológicos utilizados para obtenção de dados e informações dos equipamentos, as etapas realizadas para análise dos resultados, como também a caracterização do local investigado.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho é classificado como uma pesquisa exploratória, do ponto de vista de seu objetivo, que segundo Prodonov e Freitas (2013) tem como finalidade possibilitar mais informações sobre o assunto que será investigado, e então propiciar sua definição e seu delineamento. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

O presente trabalho pode ser classificado também como uma pesquisa descritiva, que segundo Gonçalves (2016), possui a preocupação de descobrir a frequência com que o fenômeno ocorre, sua relação e conexão com outros, sua natureza e características. O mesmo autor ressalta ainda que a pesquisa descritiva é realizada por meio da técnica padronizada de coleta de dados, principalmente pelo questionário e pela observação sistemática.

Prodonov e Freitas (2013) complementa que a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e ordena dados, sem manipulá-los, isto é, sem interferência do pesquisador. Procura descobrir a frequência com que um fato ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações com outros fatos. Os autores afirmam ainda que se utiliza técnicas específicas para coletar tais dados, dentre as principais destacam a observação.

Em relação aos procedimentos técnicos, o presente trabalho utiliza-se de um levantamento, que segundo Bazzanella (2013) envolve a interrogação direta de pessoas cujo comportamento se deseja conhecer a respeito do problema estudado a fim de, em seguida chegar às conclusões correspondentes aos dados coletados, mediante análise quantitativa.

Quanto à abordagem, o trabalho exposto é considerado como pesquisa de caráter misto, visto que mescla características da abordagem qualitativa com concepções da abordagem quantitativa.

Segundo Stake (2011), a pesquisa qualitativa possui caráter interpretativo, experiencial, situacional e personalístico. Ainda segundo o autor, é interpretativa, pois os pesquisadores se sentem confortáveis com vários significados; é experiencial devido ao enfoque das observações dos participantes; se caracteriza como situacional, pois é direcionado

a objetos e às atividades em contextos únicos e, personalística, pois é empática e trabalha para compreender as percepções individuais.

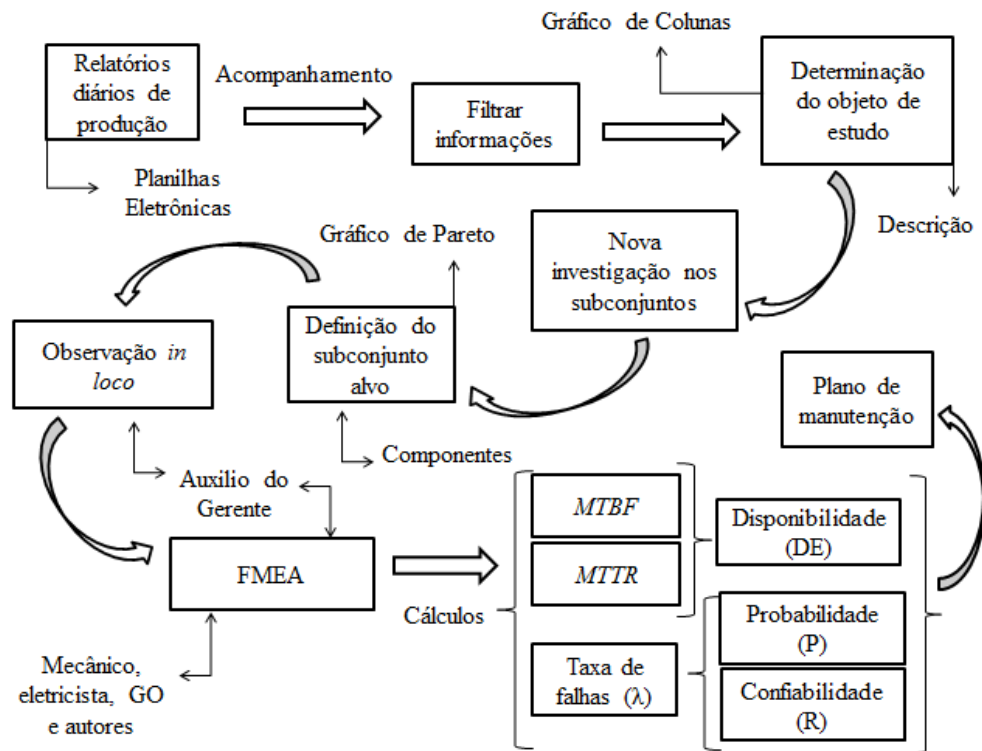
Para Pinheiro (2011), a pesquisa quantitativa é um aprendizado estatístico que tem como objetivo a descrição das peculiaridades de uma situação, mensurando numericamente, através de uma amostra da população em estudo, as hipóteses abordadas em relação a um problema. A pesquisa quantitativa possibilita o levantamento de grande quantidade de dados, analisa as informações baseada em estatísticas e, muitas vezes testa hipóteses levantadas em pesquisas qualitativas (CASTRO *et al.*, 2018).

Consegue-se compreender que o estudo de implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade deve ser realizado através de investigação estatística, produzindo dados quantitativos, que devem ser convertidos em informações e conhecimento, evidenciando assim, a pesquisa qualitativa e a quantitativa para fornecer conclusões e tomadas de decisão da equipe de manutenção.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a confecção do presente estudo, foram utilizados dados secundários de relatórios da empresa que tratam das paradas das máquinas no setor de controle de produção da área de fundição nos períodos de 01 de janeiro a 30 de junho dos anos de 2018 e 2019. As etapas a serem seguidas no decorrer do presente trabalho, foram organizadas na forma de esquema e dispostas conforme a Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Procedimentos Metodológicos



Fonte: Autores (2019)

Os métodos realizados dividem-se em procedimentos de coleta e análise que serão apresentados de forma detalhada nos subtópicos a seguir:

3.2.1 Procedimentos de coleta

Primeiramente, para a obtenção dos dados de paradas no processo de lingotamento, houve a busca dos relatórios diários de produção e paradas em formato de planilhas eletrônicas confeccionados no *software Microsoft Excel®*, as planilhas são alimentadas diariamente com informações referentes à rotina operacional pelos gerentes do setor. Tais relatórios contém local; data; horário de parada e liberação e, medidas tomadas, como também o histórico de falhas e paradas das máquinas no processo de lingotamento.

Com a realização das ações citadas acima, foi possível acompanhar o desempenho das Lingoteiras separadamente, observando os números de falhas com intenção de filtrar informações para posterior elaboração e análise do gráfico de Pareto.

3.2.2 Procedimentos de análise

Logo após a coleta e comprovação das informações das máquinas com maiores taxas de criticidade, bem como a descrição do processo de fabricação de lingotes de alumínio

primário, foi possível determinar a máquina estudada na pesquisa. Em seguida, houve a realização de uma nova investigação em relação ao subconjunto com maior índice de falhas do objeto de estudo, com objetivo de apresentar os componentes existentes e reconhecer os motivos e causas das altas taxas de paradas.

Em consequência da identificação dos itens mais expressivos em relação a falhas acidentais, iniciou-se a observação *in loco* dos componentes críticos com auxílio do gerente de manutenção durante a operação das Lingoteiras, visando à identificação de características individuais das paradas, assim como fatores prévios que podem ocasionar ocorrências de falha.

A etapa de observação dos equipamentos ocorreu no período de 01 a 31 de julho de 2019, durante seis dias por semana divididos em 3 turnos diários. O apoio durante a observação no turno matutino e vespertino ficou a cargo do gerente de manutenção e, à noite sob responsabilidade do gerente operacional. Ambos atuaram tanto nas ações corretivas para conserto dos equipamentos como no acompanhamento do processo produtivo.

Depois da observação das individualidades em funcionamento dos itens críticos, ocorreu a produção do FMEA com a presença atuante do gerente de manutenção, mecânico e eletricista, gerente operacional de uma das turmas e dos dois integrantes do presente trabalho. Ficando a cargo do gerente de manutenção repassar as informações ao gerente geral da área de fundição/manutenção.

No decorrer da elaboração do FMEA, houve a realização de reuniões com os membros citados acima, sendo que cada participante colaborou dentro de sua área de atuação, de modo a enriquecer a produção do modo de análise de falhas.

Por fim, foram calculados os fatores de confiabilidade da máquina escolhida, especialmente, o *Mean Time Before Failure* (MTBF); *Mean Time To Repair* (MTTR); Disponibilidade (DE); Taxa de falhas (λ); Probabilidade (P) que um determinado evento possa acontecer e a confiabilidade do equipamento (R). Com isso, pretende-se mitigar os modos de falhas, de forma a aumentar a confiabilidade do processo, por meio da proposta de implementação de um plano de manutenção.

3.3 LÓCUS DA PESQUISA

Para preservação da imagem da empresa estudada, é importante destacar que o presente trabalho se utiliza do nome fictício: Empresa X. A empresa onde o estudo foi elaborado é uma organização de capital fechado do ramo siderúrgico metalúrgico. É resultante

da associação de uma empresa de origem norueguesa que possui 51% das ações e, um consórcio de empresas japonesas consumidoras e produtoras de alumínio, que possuem os 49% restantes.

A Empresa X é a maior produtora de alumínio primário do Brasil, com capacidade de produção, em média, de 450.000 toneladas de alumínio líquido ao ano que são transformados em lingotes com pesos unitários de 23kg. Com participação na produção de alumínio, a empresa conta com um quadro que ultrapassa a 1200 colaboradores diretos e com funcionários de diversas empresas terceirizadas que auxiliam durante todo o processo produtivo.

Situada no Estado do Pará, mais precisamente no município de Barcarena, fornece seus produtos ao mercado externo e interno na forma de pilhas de lingotes. Sendo considerada uma grande fornecedora de alumínio primário, com grau de pureza que varia entre 99,7% e 99,9%, para clientes de vários segmentos no mercado.

A Empresa X integra um processo produtivo que permite a transformação da bauxita, um mineral abundante na região amazônica, em alumina, a principal matéria prima para obtenção do alumínio, passando pelos processos de redução e fundição, se tornando desta forma, um produto de larga aceitação internacional.

A Empresa X é composta por três áreas operacionais principais: (i) Redução; (ii) Carbono e (iii) Fundição. A área de Redução é onde ocorre o processo de transformação da alumina em alumínio primário, já o setor do carbono, é o local onde são produzidos os anodos que são utilizados para a fabricação do alumínio na área de Redução. Por fim, o processo de fundição recebe o alumínio líquido produzido na Redução e transforma-o em lingotes, por meio do processo de lingotamento.

Dentro do processo de lingotamento, a fundição é composta por cinco Lingoteiras, sendo que, quatro são idênticas e a última possui um forno basculante. Além disso, possui dois robôs que auxiliam no empilhamento dos lingotes, formando assim, o produto comercializado em forma de pilhas que variam entre 940 kg e 1040 kg.

A Lingoteira é formada por uma esteira de, aproximadamente, 30 metros de comprimento onde se localizam os moldes que dão forma aos lingotes. Além disso, a Lingoteira possui roda distribuidora que auxilia o acondicionamento do metal líquido oriundo dos fornos de espera nos moldes; processo de resfriamento de lingotes; subconjuntos de posicionamento e giro e, mesa de empilhamento, responsáveis pela formação das pilhas de lingotes.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Neste capítulo, serão expostas as etapas da metodologia MCC mencionadas anteriormente na metodologia da pesquisa sendo: (i) Descrição do processo; (ii) Obtenção dos dados nos relatórios diários de produção; (iii) Escolha do equipamento e subconjunto alvo; (iv) Observação *in loco* dos itens críticos; (v) Elaboração do FMEA.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

A Lingoteira é o principal equipamento constituinte do processo final de obtenção do alumínio primário, sendo responsável pela produção de pilhas de lingotes. As Lingoteiras estão distribuídas em cinco unidades ao longo do setor de fundição, sendo que cada máquina é alimentada por dois fornos de espera com capacidade de 50 toneladas de alumínio, vale ressaltar que quatro delas são idênticas; a quinta máquina possui apenas um forno de espera com a mesma capacidade, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Forno de Espera



Fonte: Autores (2019)

O processo de lingotamento inicia-se por meio do basculamento contínuo dos Cadinhos de Transporte de Metal (CTM's) nos fornos de espera. A etapa é caracterizada pela inclinação do cadinho na calha móvel do caminhão, possibilitando o transporte do metal para dentro dos fornos. Os Cadinhos são transportados da área de redução para a fundição por meio de caminhões chamados de Metal Trailer, segundo a Figura 4.

Figura 4 - Caminhão Metal Trailer



Fonte: Autores (2019)

A partir disso, o metal que se encontra em estado líquido em temperatura média de 760°C dentro dos fornos é transportado por uma calha constituída de material cerâmico até a roda distribuidora que está alinhada à esteira de moldes, conforme a Figura 5. Em seguida os moldes preenchidos de alumínio são transportados ao longo da esteira sofrendo o primeiro processo de resfriamento:

Figura 5 - Lingotamento



Fonte: Autores (2019)

No final da esteira cada molde é marcado com o número do lote a que se refere, para em seguida, ir ao processo de Desmoldamento com auxílio do martelo desmoldante e aparador e, processo de classificação por meio do transportador transversal de lingotes.

No transportador transversal, os produtos passam por sensores pré-programados para a leitura das dimensões de cada lingote oriundo da esteira. Esses sensores são responsáveis pela

aprovação ou reprovação dos produtos, sendo que os produtos considerados “padrão” seguem para o segundo processo de resfriamento e, os “não conformes” são rejeitados, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Transportador transversal



Fonte: Autores (2019)

Em seguida tem-se o segundo processo de resfriamento, caracterizado pela passagem de lingotes por jatos de água com objetivo de diminuir a temperatura do metal já solidificado para então, entrarem no processo de posicionamento, giro e arrumação em camadas.

Dentro da etapa de organização dos lingotes em camadas, os mesmos passam pelo posicionador, girador, sapatas, garra de lingotes, mesa giratória e transportador de pilhas até a área de remoção, segundo a Figura 7.

Figura 7 - Área de Empilhamento



Fonte: Autores (2019)

Logo após, as pilhas são transportadas para o pátio intermediário onde serão cintadas para que durante o transporte ao cliente as mesmas não fiquem desorganizadas ou tortas, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Pilhas de lingotes de alumínio



Fonte: Autores (2019)

Logo após o processo de cintagem, as pilhas são transportadas para o pátio de estocagem final situado dentro do setor de fundição. As mesmas são empilhadas de forma organizada à espera do momento de transporte ao cliente, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Pátio final de Estocagem



Fonte: Autores (2019)

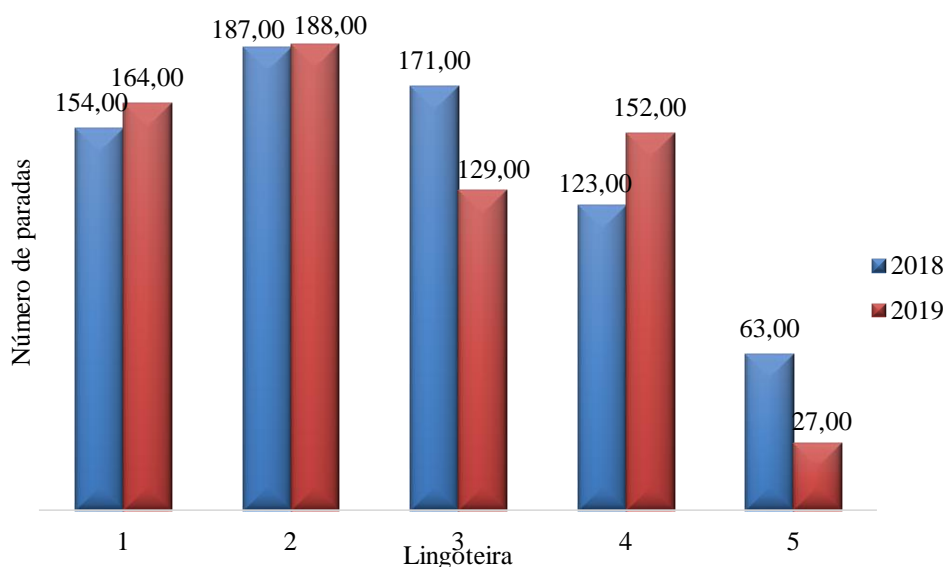
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

A coleta de dados ocorreu no setor de controle de produção da área de fundição. Tal fato se deu por meio do recolhimento de planilhas eletrônicas confeccionados no *software Microsoft Excel®* e alimentadas diariamente com informações referentes à rotina operacional pelos gerentes do setor. Tais relatórios contém o histórico de falhas e paradas das máquinas no processo de lingotamento no período de 01 de janeiro a 30 de junho dos anos de 2018 e 2019.

4.3 SELEÇÃO DO EQUIPAMENTO E DO SUBCONJUNTO

Durante o andamento do processo de produção de pilhas de lingotes, observou-se que haviam perdas significativas no desempenho dos equipamentos, assim como o aumento do número de ocorrências de quebras nas Lingoteiras. Perante estes problemas, fez-se uma análise das informações contidas nos relatórios diários de produção dos seis meses referentes aos anos de 2018 e 2019, apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Número de paradas por máquina no 1º semestre de 2018 e 2019



Fonte: Autores (2019)

Conforme o Gráfico 1 acima, pode-se perceber que a Lingoteira 2 apresenta o maior número de paradas corretivas no 1º semestre dos anos de 2018 e 2019, totalizando 187 e 188 eventos, respectivamente. A máquina 1 é a segunda com 154 ocorrências de quebras em 2018

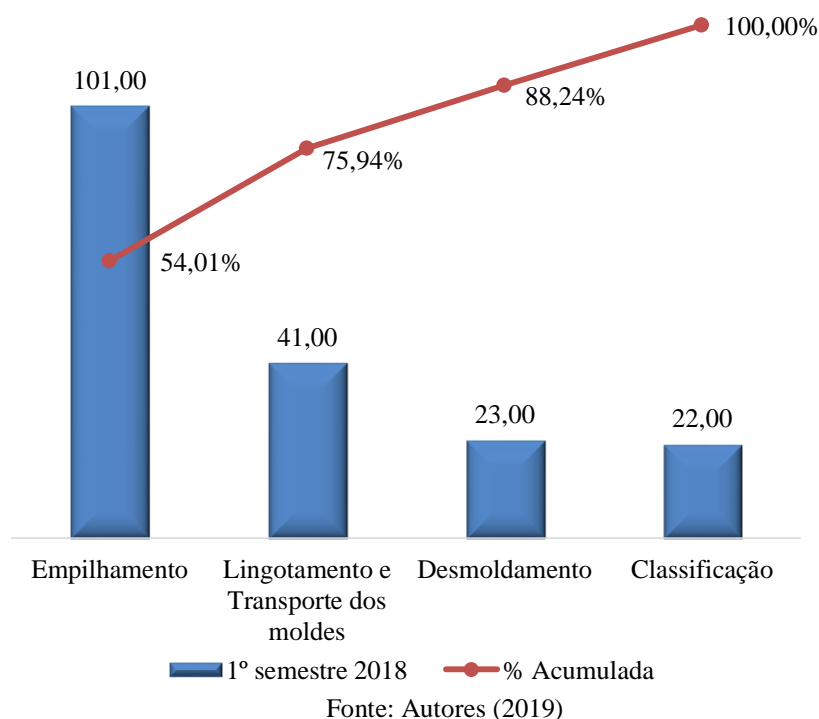
e um total de 164 paradas em 2019. Portanto, devido apresentar o maior número de eventos indesejáveis durante os períodos estudados, elegeu-se a Lingoteira 2 como o objeto de estudo para a proposta de implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Após a escolha do equipamento crítico, iniciou-se a investigação das causas por meio da interpretação dos dados coletados. Diante dessas informações e para melhor análise dos dados, construiu-se o gráfico de Pareto para apresentar o subconjunto gargalo do processo em questão.

A máquina é subdividida em: subconjunto de lingotamento e transporte de moldes constituído por calha móvel, roda distribuidora e esteira de moldes; subconjunto de desmoldamento constituído por pistola desmoldante, martelo desmoldante e aparador de lingotes; subconjunto de classificação composto por transportador transversal, garfo de transferência, portinhola e elevador de rejeitos e; subconjunto de empilhamento constituído de posicionador, girador de lingotes, garra de transporte de camadas, mesa giratória e transportador de pilhas.

O Gráfico 2 apresenta os subconjuntos e seus respectivos números de falhas ocorridos no período de estudo do ano de 2018.

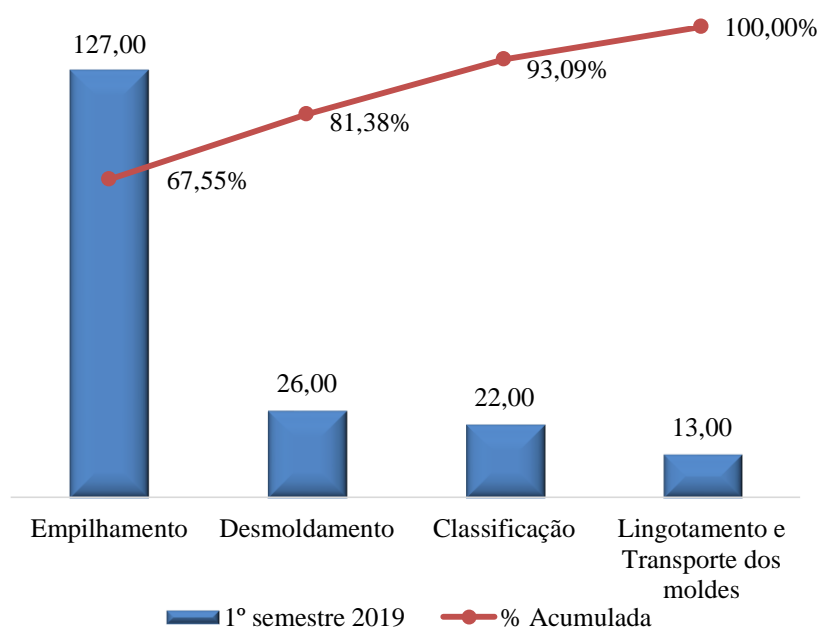
Gráfico 2 - Paradas por subconjunto da Lingoteira 2 no 1º semestre de 2018



A partir da leitura do Gráfico 2, nota-se que o subconjunto de empilhamento apresentou o maior número de ocorrências de falhas no 1º semestre de 2018, com um total de

101 eventos representando 54,01% do total. Logo em seguida, tem-se o subconjunto de Lingotamento e Transporte dos moldes com 41 episódios, que estão representando 21,93%; o subconjunto de Desmoldamento com 23 ocorrências correspondendo a 12,30% e por último o subconjunto de Classificação com 22 paradas correspondendo a 11,76% do total de ocorrências.

Gráfico 3 - Paradas por subconjunto da Lingoteira 2 no 1º semestre de 2019



Fonte: Autores (2019)

O Gráfico 3 apresenta os resultados das paradas por subconjunto dos primeiros seis meses de 2019, por meio da análise identifica-se que o subconjunto de empilhamento apresentou o maior número de falhas: 127 eventos, que representam 67,55% do total. Logo em seguida, tem-se o subconjunto de Desmoldamento com 26 ocorrências representando 13,83%; Classificação com 22 situações constituindo 11,70% do total de ocorrências e; o subconjunto de Lingotamento e Transporte dos moldes com 13 episódios correspondendo a 6,91%.

Com base nos dados acima e, de acordo com a opção dos autores de selecionar o subconjunto que apresentou o maior número de paradas e tempos de manutenção que mais interferem na disponibilidade física geral do equipamento, teve-se como escolha o subconjunto de empilhamento que será apresentado a seguir.

4.3.1 Subconjunto de empilhamento

Dentro do subconjunto de empilhamento, tem-se o posicionador, componente responsável pelo posicionamento correto dos lingotes oriundos no processo de resfriamento. O posicionador é composto por um sensor de proximidade que atua no momento em que o lingote se aproxima, fazendo com que duas chapas idênticas e de lados opostos se movimentam simultaneamente posicionando de forma correta o produto, conforme Figura 10.

Figura 10 - Posicionador



Fonte: Autores (2019)

Em seguida, tem-se o girador constituído por duas garras paralelas e sensores de proximidade com a simples função de girar os lingotes conforme a sequência de programação de construção da pilha, segundo Figura 11.

Figura 11 - Girador de lingotes



Fonte: Autores (2019)

Logo depois, tem-se a garra de lingotes com incumbência de segurar e transportar as camadas de lingotes para a mesa giratória. A mesa giratória é responsável por receber as camadas de modo a amarrar a pilha que está sendo construída, conforme Figura 12.

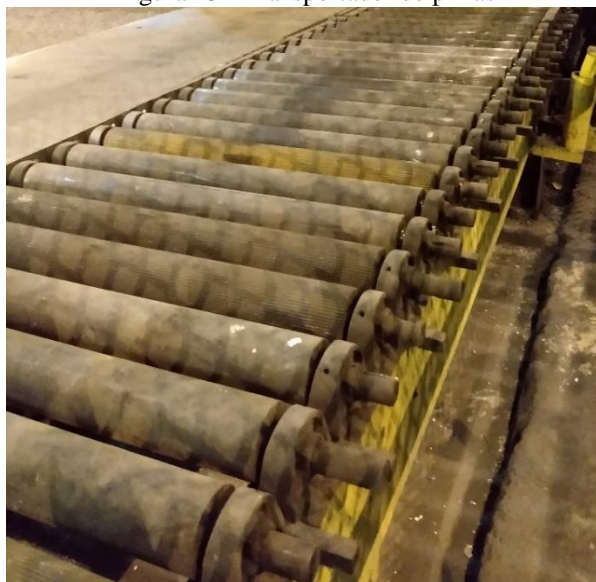
Figura 12 - Garra e mesa de lingotes



Fonte: Autores (2019)

Por fim, chega-se ao transportador de pilhas que são responsáveis pelo transporte das pilhas da mesa giratória para área de remoção. Tal fato ocorre por meio de rolos com ressaltos movidos por sistema de correia, segundo Figura 13.

Figura 13 - Transportador de pilhas



Fonte: Autores (2019)

Desta forma, constata-se que o subconjunto de Empilhamento possui a etapa mais complexa do processo, devido ao número de componentes constituintes atrelado às suas funções de modo sequencial em pequeno espaço de tempo.

4.4 OBSERVAÇÃO *IN LOCO*

Tendo em vista identificar as características individuais das paradas e fatores prévios que podem ocasionar ocorrências de falha, iniciou-se a observação *in loco* do equipamento 2 concentrando-se esforços no subconjunto de empilhamento. Esta observação possibilitou coletar e comparar informações das características individuais dos componentes constituintes do processo de empilhamento.

A etapa de observação dos equipamentos ocorreu no período de 01 a 31 de julho de 2019 durante seis dias por semana divididos em 3 turnos diários. O apoio durante a observação no turno matutino e vespertino ficou a cargo do gerente de manutenção e, a noite sobre responsabilidade do gerente operacional. Ambos atuaram tanto nas ações corretivas para conserto dos equipamentos como no acompanhamento do processo produtivo.

A observação comprovou que o maior número de ocorrências de paradas ocorre no subconjunto de empilhamento, tendo como causas as falhas pontuais nos componentes do subconjunto, assim como fatores prévios oriundos dos outros subconjuntos da máquina. Dentre os principais agentes antecedentes tem-se as ocorrências de baixo resfriamento nos lingotes; rebarbas nos lingotes; vazamento de óleo no sistema de resfriamento e sujeira nos sensores.

O processo de resfriamento é de suma importância dentro do lingotamento de alumínio primário, pois contribui para a qualidade do produto vendido e andamento do processo. Quando há inconformidade na sua função, o mesmo provocará paradas não programadas no posicionador do subconjunto de empilhamento, devido a característica de maleabilidade do alumínio em alta temperatura.

Ao longo do processo de lingotamento, tem-se a roda distribuidora que tem como função subdividir o alumínio líquido nos moldes. Porém se houver o aumento de vazão no forno provocado intencionalmente ou não por ação dos operadores, poderá ocorrer o transbordo nos moldes gerando as rebarbas. As rebarbas são acúmulo de alumínio fora das extremidades dos moldes, e quando não removidas ocasionam falhas, principalmente, no girador de lingotes.

A Lingoteira é composta por um sistema hidráulico complexo que alimenta todas as partes que a constitui, portanto, vazamento de óleos no decorrer do processo são frequentes. Quando o vazamento de óleo atinge o sistema de resfriamento, provoca acúmulo dessa substância nos lingotes dificultando seu manuseio pelos componentes durante o processo. Com isso, há consequências de falhas no subconjunto de empilhamento, pois o lingote estará escorregadio dificultando as etapas de giro e transporte das camadas para a mesa giratória.

Outra consequência dos vazamentos de óleo, é a sujeira acumulada nos sensores de proximidade junto ao vapor eliminado do processo. Comumente, o subconjunto de Empilhamento é afetado no Posicionador, Girador de Lingotes, Garra de camadas, Mesa giratória e transportador de pilhas, fazendo com que tais componentes não executem as leituras de forma correta dos produtos acarretando em paradas não programadas.

4.5 ELABORAÇÃO DO FMEA

Diante das informações obtidas por meio da observação *in loco* e de reuniões com a equipe de manutenção sobre os motivos das paradas na Lingoteira 2, partiu-se para a elaboração do FMEA (Quadro 4). A análise individual dos componentes constituintes do subconjunto de empilhamento possibilitou elencar os modos de falhas que ocorrem durante o processo de empilhar as camadas de lingotes, os efeitos que essas falhas provocam nos equipamentos, bem como as causas correspondentes.

4.5.1 Avaliação de risco das falhas

Para a elaboração do FMEA é necessário também definir os critérios de classificação das falhas e seus respectivos pesos. A identificação destes atributos irá auxiliar na especificação das prioridades de atuação em cada falha. Desta forma, a avaliação de risco das falhas foi pautada nos seguintes critérios: probabilidade de ocorrência, severidade e as chances de detecção. O Quadro 1 apresenta como as falhas foram definidas de acordo com o índice de ocorrência:

Quadro 1 - Classificação do índice de ocorrência

OCORRÊNCIA			
Probabilidade de Falha		Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Remota	Falha improvável	Chance remota de falhar	1
Baixa	Poucas falhas	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 6 meses	2
		Pouco frequente: 1 vez a cada 3 meses	3
Moderada	Falhas ocasionais	Frequência baixa: 1 vez a cada 2 meses	4
		Frequência ocasional: 1 vez por mês	5
		Frequência moderada: 1 vez a cada 2 semanas	6
Alta	Falhas frequentes	Frequente: 1 vez por semana	7
		Frequência elevada: algumas vezes por semana	8
Muito Alta	Falhas persistentes	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	9
		Frequência máxima: várias vezes ao dia	10

Fonte: Autores (2019)

Em relação à ocorrência de falhas, seus pesos variam de 1 a 10, sendo 1 chance improvável de haver falhas e 10 sendo eventos de falhas persistentes. Seguindo as definições expostas no Quadro 1, atribui-se ao subconjunto de empilhamento os valores correspondentes as falhas que acontecem em cada um de seus componentes. O Quadro 2 exhibe os graus do índice de severidade:

Quadro 2 - Classificação do índice de severidade

SEVERIDADE		
Severidade	Efeito da Severidade	Índice de Severidade
Nenhum	Sem efeito identificado	1
Muito menor	Itens de Ajustes/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por operadores (mais que 75%)	2
Menor	Itens de Ajustes/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por operadores (mais que 50%)	3
Muito baixo	Itens de Ajustes/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por operadores (mais que 25%)	4
Baixo	Equipamento operável, mas com item (s) de Conforto/Conveniência operável (is) com níveis de desempenho reduzidos	5
Moderado	Equipamento operável, mas com item (s) de Conforto/Conveniência inoperável (is)	6
Alto	Equipamento inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido	7
Muito alto	Equipamento inoperável (perdas das funções primárias)	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio	10

Fonte: Autores (2019)

A severidade está relacionada à gravidade da falha para o sistema, seus valores também variam de 1 a 10, sendo o grau 1 utilizado quando não há efeito identificado para o

evento analisado e grau 10 quando o modo de falha irá afetar a segurança na operação do equipamento. Respeitando as definições dos graus de severidade do Quadro 2, classificou-se no FMEA os modos de falhas identificados. O Quadro 3 apresenta os graus do índice de detecção:

Quadro 3 - Classificação do índice de detecção

DETECCÃO						
Detecção	Critério	Tipos de			Faixas Sugeridas dos Métodos de Detecção	Índice de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza absoluta de não detecção			X	Não pode detectar ou não é verificado	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar			X	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção			X	Controle é alcançado somente com inspeção visual	8
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção		X	X	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual	7
Baixa	Controles podem detectar		X		Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo)	6
Moderada	Controles podem detectar		X		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação	5
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar	X	X		Detecção de erros em operações subsequentes, Ou medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina)	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar	X			Detecção de erros na estação ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão	X			Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase certamente	Controles quase certamente detectarão	X			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto	1
Legenda Tipos de inspeção: A = Prova de Erro B = Medição C = Inspeção Manual/Visual						

Fonte: Autores (2019)

Em relação à probabilidade da falha ser detectada, seus valores variam de 1 a 10, levando em consideração os métodos de detecção que são realizados. O grau 1 é utilizado quando a falha será muito provável de ser detectada e o grau 10 é atribuído quando há pouca probabilidade de ser detectada. Dessa maneira, foi possível enquadrar os valores expostos no Quadro 3, em cada modo de falha identificado no subconjunto de empilhamento.

4.5.2 Representação do FMEA

A partir dos critérios de classificação das falhas e seus respectivos pesos construiu-se a representação do FMEA apresentado a seguir (Quadro 4) afim de identificar os modos, efeitos e causas de falhas, bem como a avaliação dos riscos referentes a ocorrência, severidade e detecção, além das ações preventivas recomendadas na Lingoteira 02.

Quadro 4 – Representação do FMEA

FMEA para Plano de Manutenção											
Nº FMEA:		Revisão N°:		Data de Início:		Responsável:					
Processo:		Área:		Sistema:							
Equipe:						Revisado por:					
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Análise da Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada	
			Modos de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção	RPN		
Lingoteira II - TAG: LT0002	Empilhar camadas constituintes da pilha de lingotes de alumínio primário	Posicionador	Desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora	Colisão com outras partes do equipamento	Desajuste no sensor de proximidade	10	8	3	240	Inspeccionar folga nas mangueiras de ar comprimido	
			Desprogramação da camada de lingotes	Travamento de lingotes no girador	Desincronia das chapas opostas	9	8	3	216	Inspeccionar cilindros e limpar sensor	
			Tombamento de lingotes na corrente	Sobrecarga na corrente transportadora	Velocidade excessiva da máquina	8	5	2	80	Testar sensores em velocidade máxima antes da operação do equipamento	
		Engate de lingotes	Acúmulo de lingotes na corrente transportadora	Desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora	9	8	4	288	Inspeccionar sincronização das correntes transportadoras antes do funcionamento da máquina		
		Girador	Dificuldade no giro dos lingotes	Sobrecarga no equipamento	Sujeira no sensor de proximidade	7	8	2	112	Inspeccionar sensores durante operação do equipamento	
			Garra de camadas	Vazamento de óleo hidráulico	Empenamento e quebra das garras e sensores	Mangueira de ar comprimido furada ou com folga	7	5	5	175	Inspeccionar folga nas mangueiras de ar comprimido
	Drepanamento de lingotes				Contaminação / Perda de Lubrificante	Mangueiras de ar comprimido folgadas ou saturadas	4	10	4	160	Inspeccionar situação das mangueiras de óleo
	Mesa giratória	Transportador de pilhas	Dificuldade no transporte de pilhas	Colisão com lingotes	Sobrecarga no equipamento	Desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora	7	5	5	175	Inspeccionar mangueiras de ar comprimido e sensores de proximidade. Análise de Visual da estrutura da garra.
				Dificuldade no giro da mesa	Desprogramação das camadas da pilha de lingotes	Lingotes atrás da mesa giratória	7	5	4	140	Inspeccionar sincronização das correntes transportadoras e das garras do girador
				Dificuldade na movimentação vertical	Sobrecarga no equipamento	Lingotes em baixo da mesa	6	5	6	180	Inspeccionar mesa giratória durante e antes da operação do equipamento
		Transportador de pilhas	Dificuldade no transporte de pilhas	Inexistência de atrito entre pilha e rolos	Sobrecarga no equipamento	Rolos com sulcos desgastados	6	5	6	180	Inspeccionar rolos antes da operação da máquina
				Transportador de pilhas	Dificuldade no transporte de pilhas	Sobrecarga no equipamento	Correntes ou engrenagens quebradas e rolos com sulcos desgastados	4	5	2	40
								6	5	2	60

Fonte: Autores (2019)

Após a construção do FMEA do subconjunto de empilhamento, constatou-se que o componente chamado de Posicionador é o que apresenta o maior RPN (288), apresentando como sintoma o engate de lingotes; como consequência o acúmulo de lingotes na corrente transportadora e; como a principal causa o excesso de velocidade na operacionalização da Lingoteira.

Outros dois valores de RPN também chamaram a atenção, ambos com valor de 240, porém referentes a componentes diferentes. O primeiro também relacionado com o componente Posicionador, manifestando como sintoma o desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora; como efeito da falha é a colisão dos lingotes com a estrutura da máquina e; como principal motivação o desajuste no sensor de proximidade. Já o segundo RPN de 240 é pertencente ao componente Girador com modo de falha de dificuldade de giro dos lingotes; como consequência a sobrecarga na máquina e; como principal motivo o desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora.

5 CÁLCULOS

Neste capítulo, serão expostas as etapas de resolução dos cálculos de: (i) Tempo médio entre falhas (MTBF); (ii) Tempo médio para Reparo (MTTR); (iii) Disponibilidade do equipamento (DE); (iv) Taxa de falhas (λ); (v) Probabilidade (P) e Confiabilidade (R).

5.1 CÁLCULO DO ÍNDICE MTBF

A partir dos dados obtidos, filtraram-se as informações referentes ao número de intervenções para manutenções corretivas e horas disponíveis do equipamento para a realização do cálculo do MTBF e MTTR com auxílio do *software Microsoft Excel®*. Conforme apresenta o referencial teórico, com os resultados desses índices calcula-se a disponibilidade do equipamento.

A soma das horas disponíveis para a operação na Lingoteira 02 durante o período analisado foi de 3147,67 horas e um total de 187 intervenções corretivas no mesmo período. Para a aplicação da fórmula do MTBF, organizaram-se na Tabela 1 as informações correspondentes aos meses de janeiro a junho de 2018.

Tabela 1 – Dados para o cálculo do MTBF do 1º semestre de 2018

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Horas disponíveis	609,26	565,90	642,43	482,20	437,32	410,56
Quantidade de corretivas	32,00	56,00	36,00	22,00	24,00	17,00

Fonte: Autores (2019)

Para a realização do cálculo do MTBF, utilizou-se a razão entre as horas disponíveis da Lingoteira 02 e número de paradas corretivas realizadas no equipamento. A Tabela 2 exibe os valores obtidos do tempo médio entre falhas no decorrer do período em estudo em 2018:

Tabela 2 – Tempo médio entre falhas do 1º semestre de 2018

	MTBF (h)					
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	19,04	10,11	17,85	21,92	18,22	24,15

Fonte: Autores (2019)

Os resultados obtidos do MTBF na Tabela 2 mostram que no mês de junho de 2018 o tempo médio foi de 24,15 horas entre as falhas ocorridas na Lingoteira 2, ao compará-lo com os outros meses, identifica-se que este foi o maior tempo médio entre falhas devido ao menor número de paradas para corretivas nos primeiros meses no ano. Em contrapartida, tem-se o mês de fevereiro com um total médio de 10,11 horas entre as falhas verificadas, sendo este o menor do 1º semestre de 2018.

As horas disponíveis da Lingoteira 02 para a operação durante o primeiro semestre de 2019 foram de 1498,31 horas e um total de 188 intervenções corretivas no mesmo período. Para a aplicação da fórmula do MTBF, organizaram-se na Tabela 3 as informações correspondentes aos meses de janeiro a junho de 2019.

Tabela 3 – Dados para o cálculo do MTBF do 1º semestre de 2019

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Horas disponíveis	386,34	199,39	163,58	183,63	297,44	267,93
Quantidade de corretivas	43,00	31,00	28,00	27,00	33,00	26,00

Fonte: Autores (2019)

Para a realização do cálculo do MTBF, utilizou-se a razão entre as horas disponíveis da máquina 02 e número de paradas corretivas realizadas no equipamento. A Tabela 4 exibe os valores obtidos do tempo médio entre falhas no decorrer do período em estudo em 2019:

Tabela 4 – Tempo médio entre falhas do 1º semestre de 2019

	MTBF (h)					
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	8,98	6,43	5,84	6,80	9,01	10,31

Fonte: Autores (2019)

Os resultados conquistados do MTBF na Tabela 4 mostram que no mês de junho de 2019 o tempo médio foi de 10,31 horas entre as falhas ocorridas na Lingoteira 2, ao compará-lo com os demais meses, constata-se que este foi o maior tempo médio entre falhas devido ao menor número de paradas para corretivas nos primeiros meses no ano. Por outro lado, tem-se o mês de março com um total médio de 5,84 horas entre as falhas verificadas, sendo este o menor do 1º semestre de 2019.

5.2 CÁLCULO DO ÍNDICE MTTR

Com base nas informações coletadas, constatou-se que durante o intervalo de meses em questão do ano de 2018, o equipamento 2 apresentou 186,90 horas de manutenções corretivas com um total de 187 paradas para a realização das mesmas. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos:

Tabela 5 – Manutenções corretivas na Lingoteira 2 no 1º semestre de 2018

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Horas de corretivas	25,30	71,10	23,90	21,10	23,30	22,20
Quantidade de corretivas	32,00	56,00	36,00	22,00	24,00	17,00

Fonte: Autores (2019)

Para o cálculo do MTTR dividiu-se as horas destinadas às manutenções corretivas pelo número de intervenções corretivas realizadas no equipamento. No *Microsoft Excel*® aplicou-se a fórmula e para uma melhor visualização dos resultados construiu-se a Tabela 6 com o tempo médio para reparos nos meses em questão:

Tabela 6 – Tempo médio para reparo do 1º semestre de 2018

	MTTR (h)					
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	0,79	1,27	0,66	0,96	0,97	1,31

Fonte: Autores (2019)

Os resultados da Tabela 6 expõem que o maior tempo médio para reparos ocorreu no mês de junho, com um total de 1,31 horas devido o menor número de ocorrências de paradas para corretiva do semestre analisado, porém as mesmas consumiram bastante tempo para serem sanadas. Por outro lado, no mesmo período, tem-se o mês de março com o menor tempo médio para reparos com valor correspondente a 0,66 horas, graças a um elevado número de paradas para manutenção corretiva, todavia com tempo reduzido para resolução das mesmas, demonstrando que tais ocorrências não foram complexas para a equipe de manutenção.

Em relação ao primeiro semestre de 2019, a máquina 2 apresentou 179,80 horas de manutenções corretivas com um total de 188 paradas para a realização das mesmas. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos:

Tabela 7 – Manutenções corretivas na Lingoteira 2 no 1º semestre de 2019

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Horas de corretivas	31,30	38,30	56,30	12,30	16,50	25,10
Quantidade de corretivas	43,00	31,00	28,00	27,00	33,00	26,00

Fonte: Autores (2019)

Para a obtenção dos valores do MTTR dividiu-se as horas destinadas às manutenções corretivas pelo número de intervenções corretivas realizadas na máquina. No *Microsoft Excel*® aplicou-se a fórmula e para uma melhor apresentação dos resultados construiu-se a Tabela 8 com o tempo médio para reparos nos meses em questão:

Tabela 8 – Tempo médio para reparo do 1º semestre de 2019

	MTTR (h)					
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	0,73	1,24	2,01	0,46	0,50	0,97

Fonte: Autores (2019)

Os resultados da Tabela 8 exibem que o maior tempo médio para reparos se deu no mês de março, com um total de 2,01 horas devido ao maior tempo de paradas para corretiva do semestre analisado. Por outro lado, no mesmo período, tem-se o mês de abril com o menor tempo médio para reparos com valor correspondente a 0,46 horas, em virtude de apresentar o segundo menor número de paradas para manutenção corretiva e menor tempo para resolução das mesmas.

5.3 CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE (DE)

Por meio dos resultados apresentados acima correspondentes ao MTBF e MTTR de 2018, calculou-se a disponibilidade da máquina 2 no primeiro semestre de 2018 como pode-se visto na Tabela 9:

Tabela 9 – Disponibilidade da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2018

	Disponibilidade (%)					
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	96,01%	88,84%	96,41%	95,81%	94,94%	94,87%

Fonte: Autores (2019)

Como pode ser visto na Tabela 9, o mês de março apresentou a maior disponibilidade (96,41%) por apresentar o menor tempo para reparos do período estudado, em seguida têm-se os meses de janeiro e abril com os resultados de 96,01% e 95,81%, respectivamente. O mês de fevereiro apresentou o menor índice de disponibilidade do equipamento 2 para operação com valor igual a 88,84%, tal fato ocorreu devido ao mês apresentar o menor MTBF e o segundo maior MTTR do período em questão.

Mediante aos resultados apresentados anteriormente correspondentes ao MTBF e MTTR de 2019, calculou-se também a disponibilidade do equipamento 2 no primeiro semestre de 2019 como pode-se visto na Tabela 10:

Tabela 10 – Disponibilidade da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2019

Disponibilidade (%)						
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	92,51%	83,89%	74,40%	93,72%	94,74%	91,43%

Fonte: Autores (2019)

Por meio da análise da Tabela 10, nota-se que o mês de maio apresentou a maior disponibilidade (94,74%) por apresentar um tempo para reparos baixo e o segundo maior tempo entre falhas do período estudado, em seguida têm-se os meses de abril e janeiro com os resultados de 93,72% e 92,51%, respectivamente. O mês de março apresentou o menor índice de disponibilidade da máquina 2 para operação com valor igual a 74,40%, tal fato ocorreu devido ao mês apresentar o menor MTBF e o maior MTTR do período em questão.

5.4 CÁLCULO DA TAXA DE FALHAS (λ)

Com os dados oriundos do MTBF de 2018 (Tabela 2) realizaram-se os cálculos para a obtenção da taxa de falhas a partir da expressão apresentada no referencial teórico que se utiliza o tempo médio entre falhas dos meses correspondentes. A Tabela 11 contém os valores obtidos:

Tabela 11 – Taxa de falhas da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2018

Taxa de falhas (λ)						
Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Lingoteira 2	0,053	0,099	0,056	0,046	0,055	0,041

Fonte: Autores (2019)

O comportamento da taxa de falhas ao longo dos seis primeiros meses de 2018 exposto na Tabela 11 exhibe que no mês de fevereiro houve maior taxa de falhas no equipamento em questão, com um total de 0,099 horas, por apresentar o menor tempo médio entre falhas do período. Como o mês de junho apresentou o maior índice de tempo médio entre falhas (24,15 horas), a taxa de falhas correspondente foi a menor do semestre com 0,041 horas.

Utilizando-se dos dados do MTBF de 2019 (Tabela 4) realizaram-se os cálculos para a obtenção da taxa de falhas dos meses correspondentes. A Tabela 12 contém os valores obtidos:

Tabela 12 – Taxa de falhas da Lingoteira 2 do 1º semestre de 2019

Taxa de falhas (λ)						
Lingoteira 2	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
	0,111	0,155	0,171	0,147	0,111	0,097

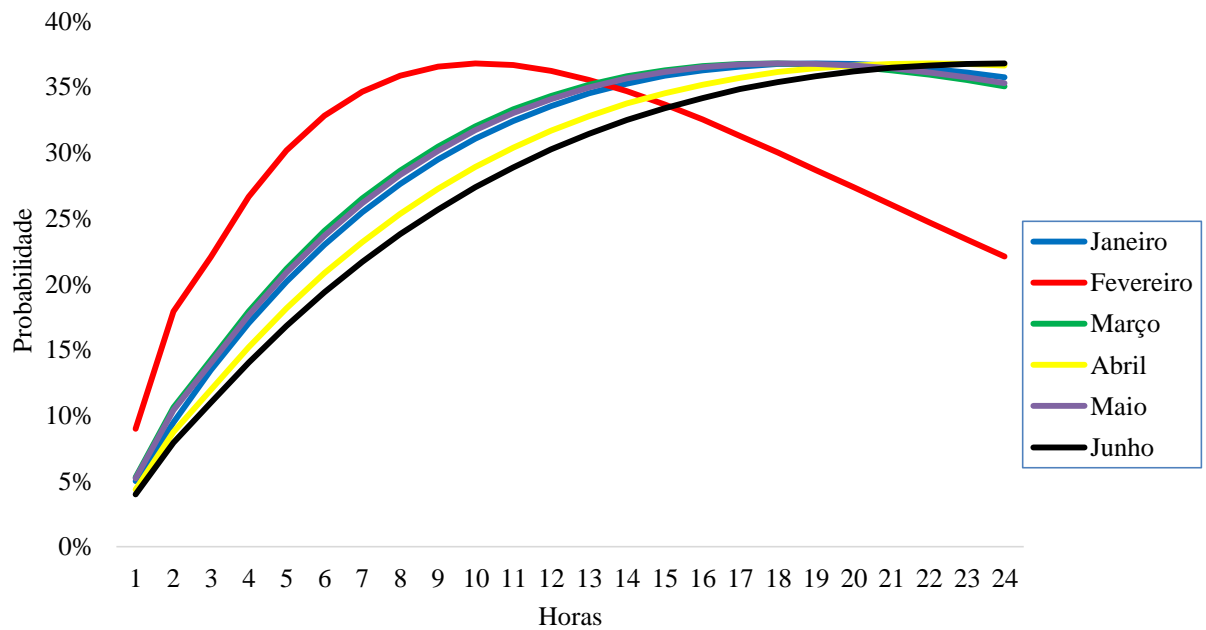
Fonte: Autores (2019)

A variância nos valores da taxa de falhas ao longo do primeiro semestre exposto na Tabela 12 mostra que no mês de março houve maior taxa de falhas na máquina em questão, com um total de 0,171 horas, por apresentar o menor tempo médio entre falhas do período. Como o mês de junho apresentou o maior índice de tempo médio entre falhas (10,31 horas), a taxa de falhas correspondente foi a menor do semestre com 0,097 horas.

5.5 CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE FALHAS (P)

Em relação aos resultados dos cálculos da probabilidade de ocorrência de falhas na Lingoteira 2, aplicou-se os dados da taxa de falha apresentados nas tabelas 11 e 12; intervalo de tempo (t) igual a 24 horas e; número de ocorrências (n) igual a 1, referentes aos anos de 2018 e 2019. Conforme a solução exposta no referencial teórico, aplicou-se primeiramente os valores correspondentes a cada mês analisado para o ano de 2018. Com auxílio do *Microsoft Excel*® obtiveram-se os seguintes resultados (Gráfico 4):

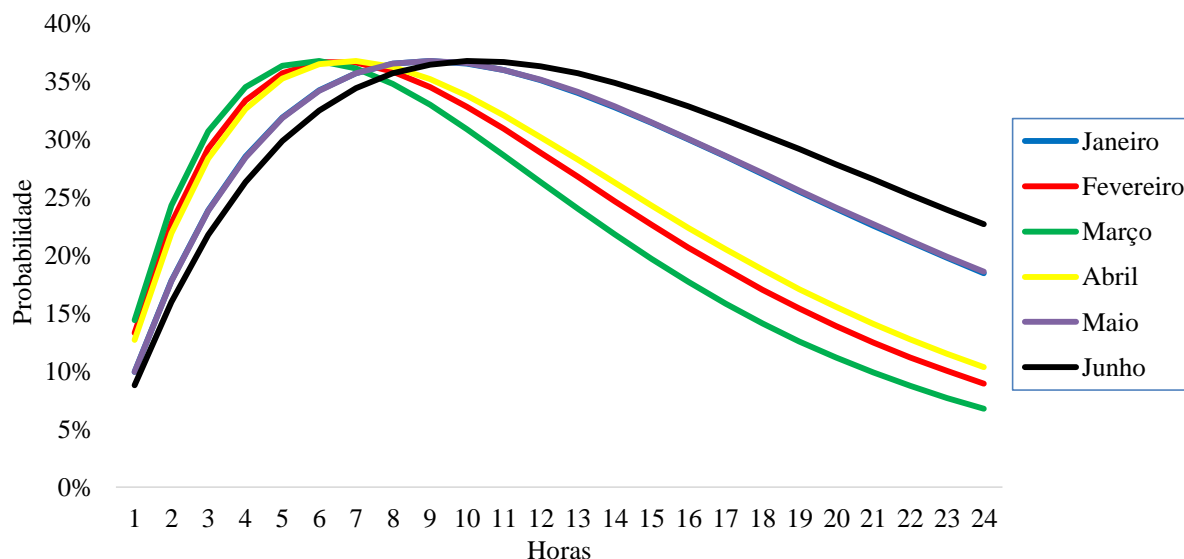
Gráfico 4 – Probabilidades de falhas no 1º semestre de 2018 na Lingoteira 2



Fonte: Autores (2019)

O comportamento apresentado pelo Gráfico 4, permite identificar que o intervalo com maiores chances de ocorrer a primeira falha está entre $t = 18$ horas e $t = 24$ horas, a partir do início de seu funcionamento. Porém, nota-se que no mês de fevereiro houve um comportamento diferente dos demais com maior probabilidade em torno das 10 horas. As análises identificam que neste intervalo a probabilidade da Lingoteira 2 falhar é de aproximadamente 37%. Logo em seguida, aplicou-se novamente a fórmula para identificar os valores obtidos para os mesmos meses no ano de 2019.

Gráfico 5 – Probabilidades de falhas no 1º semestre de 2019 na Lingoteira 2



Fonte: Autores (2019)

A análise do Gráfico 5 mostra que as maiores probabilidades de ocorrer a primeira falha estão no instante entre $t = 6$ horas e $t = 10$ horas a partir do início de seu funcionamento, apresentando aproximadamente 37% de chances. Tal fato ocorreu devido aos valores da taxa de falha referentes os primeiros meses de 2019 terem sido maiores aos resultados encontrados em 2018.

5.6 CÁLCULO DA CONFIABILIDADE (R)

Para os cálculos da confiabilidade da Lingoteira 2, utilizou os dados da taxa de falha apresentados nas tabelas 11 e 12, referentes aos anos de 2018 e 2019, respectivamente, com tempo (t) igual a 24 horas. Conforme a expressão 1 apresentada no referencial teórico aplicou-se primeiramente os valores correspondentes a cada mês analisado para o ano de 2018. Com auxílio do *Microsoft Excel*® obtiveram-se os seguintes resultados (Tabela 13):

Tabela 13 – Confiabilidade no 1º semestre de 2018

Confiabilidade R (t)						
Meses	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho
Lingoteira 2	28,35%	9,30%	26,06%	33,45%	26,79%	37,02%

Fonte: Autores (2019)

O mês de junho apresentou maior confiabilidade em um período de 24 horas, com um total de 37,02%, conforme se verifica na Tabela 13. Tal fato está relacionado a este mês ter apresentado a menor taxa de falha do período (0,041 horas). Já fevereiro foi identificado como o mês com maior taxa de falhas, um total de 0,099 horas, e por esta razão exibiu a menor confiabilidade em um dia: 9,30%. Seguindo com os cálculos, aplicou-se a mesma equação para os primeiros seis meses de 2019. A Tabela 14 exhibe os valores encontrados:

Tabela 14 – Confiabilidade no 1º semestre de 2019

Confiabilidade R (t)						
Meses	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
Lingoteira 2	6,92%	2,40%	1,64%	2,93%	6,98%	9,74%

Fonte: Autores (2019)

Com os resultados da Tabela 14, percebe-se que junho foi o mês com melhor confiabilidade em 24 horas para a Lingoteira 2, com um total de 9,74%. Este comportamento é devido ter apresentado 0,097 horas de taxa de falhas, considerada a menor entre os meses. Março foi um mês com maior taxa de falhas no período em estudo (0,171 horas), dessa forma, apresentou menor confiabilidade em um dia, com um total de 1,64%.

6 ANÁLISES DOS RESULTADOS

De acordo com as informações apresentadas nos capítulos anteriores, houve a necessidade da realização de uma análise dos resultados para a elaboração do plano de manutenção do setor de fundição da Empresa X.

Com a obtenção dos dados do setor de manutenção, pode-se perceber que no primeiro semestre de 2018 e de 2019 a Lingoteira 2 foi a máquina que apresentou o maior número de paradas para manutenção corretiva com 187 e 188 ocorrências, respectivamente. A partir disso, gerou-se os gráficos de Pareto de cada ano em relação aos subconjuntos existentes e, notou-se que, o subconjunto de empilhamento apresentou em ambos os anos o maior número de eventos com 101 e 127 episódios, respectivamente, desse modo elegeu-se a máquina 2 e o subconjunto de empilhamento como alvos de estudo do presente trabalho.

O FMEA do subconjunto de empilhamento no componente Posicionador, apresentou o maior RPN (288) ocasionado pelo excesso de velocidade na operacionalização da Lingoteira, tendo como consequências o acúmulo de lingotes na corrente transportadora e paralização da máquina. Além disso, o mesmo Posicionador empatado com o componente Girador resultaram no segundo maior RPN (240), porém com motivações diferentes.

O Posicionador apresentou como principal motivação o desajuste no sensor de proximidade ocasionando na colisão dos lingotes com a estrutura da máquina. O componente Girador apresentou como principal motivo o desalinhamento dos lingotes na corrente transportadora tendo como consequência a sobrecarga na máquina.

Após a realização dos cálculos, percebeu-se que o MTBF nos meses de junho de 2018 e de 2019 foram os maiores dos semestres com 24,15 horas e 10,31 horas, respectivamente, ao compará-los com os outros meses, identificou-se que foram os maiores tempos devido aos menores números de paradas para corretivas 17 e 26 eventos, na devida ordem. Com isso, as taxas de falhas calculadas nos dois anos foram as menores nos meses citados acima, com 0,041 horas em 2018 e 0,097 horas em 2019.

Do mesmo modo, notou-se que os maiores valores de MTTR estão em junho de 2018 (1,31 horas) e março de 2019 (2,01 horas), devido aos elevados tempos de paradas para manutenção corretiva. Dessa maneira, a maior disponibilidade em 2018 se concentrou em março com valor de 96,41% e em 2019, o mês de maio apresentou 94,74%.

No que se refere as probabilidades de ocorrência de falhas de 2018, descobriu-se que o intervalo com maiores chances de ocorrer a primeira falha está entre $t = 18$ horas e $t = 24$ horas, a partir do início de seu funcionamento com probabilidade de aproximadamente 37%.

De maneira análoga, notou-se que em 2019 a maior probabilidade de ocorrer a primeira falha está no instante entre $t = 6$ horas e $t = 10$ horas a partir do início de seu funcionamento, apresentando aproximadamente 37% de chances.

Por fim, os meses de junho apresentaram maiores confiabilidades tanto em 2018 como em 2019, com um total de 37,02% e 9,74%, respectivamente, devido aos mesmos terem apresentado os maiores tempos médio entre falhas com 24,15 horas em 2018 e 10,31 horas em 2019, de modo a impactar positivamente nas taxas de falha nos mesmos meses com 0,041 horas em 2018 e 0,097 horas em 2019.

6.1 PLANO DE MANUTENÇÃO

A partir da análise dos resultados, construiu-se um plano de manutenção apresentado a seguir (Quadro 5) afim de aumentar os índices de MTBF, disponibilidade e confiabilidade e, diminuir os valores de MTTR, taxa de falhas e probabilidade de ocorrências de eventos na Lingoteira.

Quadro 5 – Representação do plano de manutenção

EMPRESA X	PLANO DE MANUTENÇÃO					
	Equipe Responsável:	Equipe MCC	Lingoteira:	LT- 0002	Data:	01/01/2020
	Supervisor:	Gerente de manutenção	Subconjunto:	Empilhamento	Folha:	01
Componente	Atividade	Especialidade	EPTs	Modo de realização	Periodicidade	Observações
Posicionador	Inspeção nas mangueiras de alimentação de ar comprimido	Mecânico	Capacete com viseira de acrílico, óculos de proteção, protetor auricular e luvas de vaqueta	Deve-se realizar a inspeção focando no corpo das mangueiras e pontos mais suscetíveis a vazamentos antes do funcionamento da máquina	8h	
	Inspeção de cilindros e sensores de proximidade	Mecânico		A realização das inspeções nos cilindros e sensores do posicionador devem ser feitas antes do funcionamento da Lingoteira, concentrando esforços em possíveis vazamentos e sujeiras	8h	
	Teste prévio de sensores de proximidade	Operador de produção/Mecânico		O teste prévio deve ser realizado com atuação do mecânico auxiliado pelo operador de produção que atua na máquina antes do início do lingotamento	8h	
Girador	Inspeção do sincronismo das correntes transportadoras	Mecânico/Eletricista		A inspeção deve atentar para a movimentação de forma igualitária das correntes, bem como para a estrutura da mesma, concentrando esforços nos pontos de união dos elos	8h	
	Inspeção dos sensores de proximidade	Eletricista		A inspeção nos sensores do girador deve ser realizada antes do funcionamento da máquina, focando em possíveis sujeiras ou obstáculos que impeçam a sua atuação	8h	
	Inspeção nas mangueiras de alimentação de ar comprimido	Mecânico		Deve-se realizar a inspeção focando no corpo das mangueiras e pontos mais suscetíveis a vazamentos antes do funcionamento da máquina	8h	
Garra de camadas	Inspeção de mangueiras de óleo hidráulico	Mecânico		Deve-se realizar a inspeção focando no corpo das mangueiras e pontos mais suscetíveis a vazamentos de óleo antes do início do lingotamento	8h	
	Inspeção nas mangueiras de alimentação de ar comprimido e sensores de proximidade	Mecânico/Eletricista		As inspeções nas mangueiras e sensores da garra devem ser feitas antes do funcionamento da Lingoteira, concentrando esforços em possíveis vazamentos e sujeiras	8h	
	Análise visual da estrutura da garra	Operador de produção/mecânico		A inspeção visual da garra deve ser realizada pelo operador da máquina/mecânico verificando se há sinal de batidas ou empenamento da estrutura	8h	
	Inspeção do sincronismo das correntes transportadoras	Mecânico/Eletricista		A inspeção deve atentar para a movimentação de forma igualitária das correntes, bem como para a estrutura da mesma, concentrando esforços nos pontos de união dos elos	8h	
Mesa giratória	Inspeção e teste prévios dos movimentos de rotação e elevação	Mecânico/Eletricista	A inspeção e teste deve ser realizado pelo mecânico com apoio do eletricista, de modo a movimentar a mesa no modo "manual", verificando os movimentos verticais e de rotação	8h		
Transportador de pilhas	Inspeção visual e prévia dos sulcos dos rolos	Operador de produção/Mecânico	O operador de produção/mecânico por meio de inspeção visual verificará a situação dos sulcos dos rolos transportadores	8h		
	Lubrificação e inspeção visual das correntes dos rolos	Operador de produção/Mecânico	Antes do funcionamento da máquina o operador e/ou mecânico devem inspecionar a situação das correntes e engrenagens que movimentam os rolos transportadores	8h		

Fonte: Autores (2019)

A partir da leitura do plano de manutenção acima, nota-se que o documento apresenta informações necessárias para a realização das atividades e garantia de eficiência nas ações. Dentro do plano observa-se o componente alvo; operação a ser realizada; o profissional responsável; os equipamentos de proteção individual necessários para a execução de forma segura; o modo de realização da atividade; periodicidade das ações e observações relevantes.

Em relação a periodicidade é importante destacar que nos estudos de probabilidades mencionados anteriormente, os intervalos de tempos variaram entre 18 horas e 24 horas em 2018 e, 6 horas e 10 horas em 2019. Porém durante a confecção do plano de manutenção, notou-se a inviabilidade de interrupção da operação das Lingoteiras para cumprimento das atividades preventivas, por este motivo, adotou-se a periodicidade de 8 horas para a realização das mesmas por coincidir com o momento de troca de turnos na Empresa X.

7 COMENTÁRIOS FINAIS

É possível concluir que o presente estudo alcançou os objetivos geral e específicos pré-estabelecidos, uma vez que apresenta uma proposta de aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade no setor de fundição de uma metalúrgica situada no município de Barcarena e apresenta resultados decorrentes do cumprimento da realização dos objetivos específicos pré-estabelecidos no tópico 1.2.2.

Este trabalho descreveu de forma sistêmica o processo de lingotamento, identificou a Lingoteira com maior número de paradas e o seu subconjunto mais crítico com a finalidade de priorizar a atuação da MCC no local que mais está impactando nas perdas de desempenho da máquina do setor em questão.

Durante a execução deste trabalho realizaram-se acompanhamentos da performance da máquina, para identificar as causas das paradas mais recorrentes, bem como o detalhamento dos componentes do subconjunto de empilhamento com suas respectivas responsabilidades no processo. Com o objetivo de conhecer os modos de falhas, efeitos e suas causas individuais, aplicou-se a ferramenta FMEA, que permitiu uma análise particular das ocorrências de falhas e reconhecimento dos itens físicos críticos através do cálculo do Número de Prioridade de Risco (RPN).

Realizaram-se também cálculos dos índices de desempenho da Lingoteira referente os primeiros semestres dos anos de 2018 e 2019, para ter conhecimento do comportamento apresentado pela máquina ao longo desse período e melhor monitoramento da confiabilidade da máquina e suas probabilidades de falhas. E a partir da análise desses resultados, tem-se base para a construção do plano de manutenção, a fim de gerenciar os recursos materiais e humanos de forma mais assertiva.

O entendimento do processo de lingotamento, juntamente com a utilização de procedimentos metodológicos que compõem a aplicação da MCC, auxilia o setor de fundição na tomada de decisão gerencial, ao permitir soluções para os modos de falha bem aplicáveis e de acordo com às características de cada item da máquina. As ações recomendadas buscarão a redução de ocorrências de fatos indesejados ao andamento do processo produtivo, bem como atender as necessidades dos demais pontos envolvidos no processo.

Com isso a gerência da manutenção terá embasamento técnico para realizar um planejamento efetivo para a atuação do setor de manutenção, já que a MCC possibilita o conhecimento das peculiaridades do processo, envolve a equipe de manutenção com a de

operação, estende as análises de custos e segurança e, melhor distribui seus funcionários dentro das tarefas pré-determinadas nos turnos de produção. Além disso, os pontos críticos elencados no plano de manutenção, serão atendidos no momento correto pelo especialista correspondente e tratados com caráter preventivo.

As dificuldades encontradas durante a realização do estudo se restringiram ao fornecimento de dados secundários referentes ao planejamento estratégico do setor de fundição e aos custos envolvidos nas atuações de manutenções. Contudo, é importante destacar os pontos positivos adquiridos com este trabalho, tais quais são: conhecimento amplo acerca da máquina em estudo e aprofundamento nos conceitos dos principais indicadores de desempenho (Taxa de falhas, MTBF, MTTR e Disponibilidade), bem como entendimento da implementação da MCC.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a ampliação deste estudo para as demais máquinas responsáveis pelo lingotamento com o objetivo de encontrar e atuar em seus pontos críticos para o aumento da performance. Além disso, sugere-se a elaboração do plano de 52 semanas para as Lingoteiras, a fim de distribuir as tarefas de manutenções preventivas para cada semana do ano.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. De. **Gestão da manutenção aplicado às áreas industrial, predial e elétrica**. São Paulo: Saraiva, 2018.

ALMEIDA, P. S. de. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2014.

ANTUNES, J. *et. al.* **Uma revolução na produtividade: A gestão lucrativa dos postos de trabalho**. Porto alegre: Bookman, 2013.

ASSI, M. **Gestão de riscos com controles internos: certificações e métodos para garantir a eficiência dos negócios**. São Paulo: Saint paul, 2019.

BARAN, L. R. *et. al.* **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) aplicada na redução de falhas funcionais em um sistema de tensionamento**. XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Salvador. 18 p. Outubro, 2013.

BAZZANELLA, A. **Metodologia científica**. Indaial: Uniasselvi, 2013.

BECK, A. T. **Confiabilidade e segurança das estruturas**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2019.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2017.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Editora Saraiva, 8 ed, 2010.

CASTRO, G. C.; *et al.* **Comportamento do consumidor e pesquisa de marketing**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2018.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise quantitativa de um forno elétrico a indução**. Revista Online. Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p.405-432, abr./jun. 28 f. 2015.

DANTAS, C. A. B. **Probabilidade: Um Curso Introdutório**. Vol. 10. São Paulo: USP, 2013.

DAYCHOUM, M. **40+10 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2013.

DIAS, E. O. **Sobre a confiabilidade e outros estudos**. São Paulo: DWW Editorial, 2017.

FILHO, E. R. *et al.* **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, ABEPRO, 2º, 2009.

GAIO, E. D. **Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, 2016.

GONÇALVES, H. A. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. São Paulo: Avercamp, 2016.

JUSTA, M. **Gestão da mudança & Lean Manufacturing: transformando operações em vantagem competitiva sustentável**. Curitiba: Appris, 1 ed., 2016.

KERSTEN, Alexandre. **Proposta de Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma jateadora de granalha**. 69 f. 2014. Tese. FAHOR - faculdade Horizontina Curso de Engenharia Mecânica, Horizontina, 2014.

LAUGENI, F. P.; MARTINS, P. G. **Administração da Produção: Série Fácil**, São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

MALPAGA, I. **O departamento de manutenção**. Joinville: Clube de autores, 2009.

MATTOS, U. A. De O.; MÁSCULO, F. S. **Higiene e Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª ed., 2019.

MEEHAN, J. M. *et al.* **Gestão de rentabilidade e pricing: Um guia prático para líderes e gestores de empresas**. Conjuntura Actual Editora, 2011.

MENDES, J. R. B.; VALLE, A. B.; FABRA, M. **Gerenciamento de projetos**. Rio de Janeiro. 2 ed. Editora FGV, 2014.

MEYER, P. L. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2013.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012.

MOREIRA, L. A. F.; MASSARANI, M. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada em Veículos: Uma aplicação prática da Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Riga Latvia: Novas Edições Acadêmicas, 2017.

OHTA, R. **Gestão da Manutenção Centrada na Confiabilidade em Pontes Rolantes**. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

OLIVEIRA, A.L.; HU, O. R. T. **Gerenciamento do Ciclo da Qualidade: Como gerir a qualidade do produto da concepção ao pós-venda**. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2018. 76 p.

OLIVEIRA, V. L. **Aplicação da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no setor de laminação de uma empresa siderúrgica**. Trabalho de Conclusão de Curso. João Monlevade: Agosto, 2017

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de Manutenção: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda., 2009.

PINHEIRO, R. M. **Pesquisa de mercado**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011.

PINKER, S. **Os anjos bons da nossa natureza: Por que a violência diminuiu**. São Paulo: Editora Companhia das Letras, 2013.

PRATA, H. D. R. **Manual de manutenção de edifícios: guia prático**. Publindústria, 2ª edição, 2014.

PRODONOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia de trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale. 2ª edição, 2013.

ROJAS, P. **Introdução à logística portuária e noções de comércio exterior**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

ROJAS, P. R. A. **Técnico em Segurança do Trabalho**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SANCHES, D. **Confiabilidade Eletrônica**. Rio de Janeiro: Clube de Autores, 2010.

SANTOS, N. A. dos. SELLITO, M. A. **Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.16, n. 1, p. 77-103, jan./mar. 2016.

SOUZA, R. C. **Proposta de implementação da manutenção centrada na confiabilidade em ensacadeira de uma empresa de calcinação.** Trabalho de Conclusão de Curso: Minas Gerais, 2016.

SPIEGEL, M. R.; SCHILLER, J. J.; SRINIVASAN, R. A. **Probabilidade e Estatística.** 3ª edição. Coleção Schaum. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

STAKE, R. E. **Pesquisa Qualitativa: Estudando como as Coisas Funcionam.** Porto Alegre: Penso Editora, 2011.

TORRES, V. A.; ALMEIDA, C. S. **Gestão da manutenção no setor de utilidades em ambiente industrial com aplicação dos conceitos e métodos de Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC em Chiller.** Gestalent, Rio de Janeiro, 16 p. Setembro. 2018.

VERRI, L. B. **A Confiabilidade Prática Na Administração Da Engenharia.** Rio de Janeiro: Clube de Autores, 2010.

VIANA, H. R. G. **Fatores de Sucesso na Gestão da manutenção.** Rio de Janeiro: Bookstart, 2016.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade.** Rio de Janeiro. 3 edição. Elsevier, 2014.

XAVIER, Francisco José Cavalcante. **Manutenção como atividade de gestão e estratégia: um estudo na empresa alfa do polo industrial de Manaus.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2015.

APÊNDICE A - PROBABILIDADES DE FALHAS NA LINGOTEIRA 02 NO 1º SEMESTRE DE 2018

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
λ	0,05252	0,09896	0,05604	0,04562	0,05488	0,04141
t (h)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)
1	4,98%	8,96%	5,30%	4,36%	5,19%	3,97%
2	9,46%	17,93%	10,60%	8,72%	10,39%	7,95%
3	13,46%	22,06%	14,21%	11,94%	13,96%	10,97%
4	17,03%	26,64%	17,91%	15,21%	17,63%	14,03%
5	20,20%	30,17%	21,17%	18,16%	20,86%	16,83%
6	23,00%	32,79%	24,02%	20,82%	23,69%	19,38%
7	25,45%	34,65%	26,50%	23,21%	26,16%	21,69%
8	27,60%	35,87%	28,63%	25,34%	28,30%	23,78%
9	29,46%	36,55%	30,46%	27,23%	30,14%	25,67%
10	31,06%	36,79%	32,00%	28,91%	31,70%	27,37%
11	32,42%	36,65%	33,28%	30,38%	33,01%	28,88%
12	33,56%	36,22%	34,33%	31,67%	34,09%	30,23%
13	34,50%	35,54%	35,16%	32,78%	34,96%	31,42%
14	35,25%	34,67%	35,80%	33,72%	35,63%	32,47%
15	35,83%	33,64%	36,27%	34,52%	36,14%	33,38%
16	36,27%	32,50%	36,58%	35,18%	36,49%	34,16%
17	36,56%	31,28%	36,75%	35,71%	36,70%	34,82%
18	36,73%	30,00%	36,79%	36,13%	36,79%	35,37%
19	36,79%	28,68%	36,71%	36,43%	36,76%	35,82%
20	36,74%	27,35%	36,54%	36,64%	36,62%	36,18%
21	36,61%	26,01%	36,28%	36,75%	36,40%	36,45%
22	36,39%	24,68%	35,93%	36,79%	36,10%	36,63%
23	36,09%	23,37%	35,52%	36,74%	35,72%	36,74%
24	35,74%	22,09%	35,04%	36,63%	35,29%	36,79%

**APÊNDICE B - PROBABILIDADES DE FALHAS NA LINGOTEIRA 02 NO 1º
SEMESTRE DE 2019**

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
λ	0,1113	0,15547	0,17117	0,14703	0,11095	0,09704
t (h)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)	(P)
1	9,96%	13,31%	14,42%	12,69%	9,93%	8,81%
2	17,82%	22,78%	24,31%	21,91%	17,77%	15,98%
3	23,91%	29,26%	30,73%	28,38%	23,86%	21,76%
4	28,52%	33,39%	34,53%	32,66%	28,47%	26,33%
5	31,90%	35,73%	36,37%	35,25%	31,85%	29,87%
6	34,25%	36,70%	36,77%	36,51%	34,21%	32,53%
7	35,75%	36,65%	36,15%	36,77%	35,72%	34,44%
8	36,55%	35,86%	34,82%	36,28%	36,54%	35,72%
9	36,79%	34,53%	33,01%	35,23%	36,79%	36,47%
10	36,57%	32,84%	30,91%	33,80%	36,58%	36,77%
11	35,99%	30,93%	28,65%	32,09%	36,02%	36,71%
12	35,13%	28,88%	26,34%	30,22%	35,16%	36,34%
13	34,05%	26,78%	24,04%	28,26%	34,09%	35,73%
14	32,80%	24,69%	21,82%	26,28%	32,86%	34,92%
15	31,44%	22,64%	19,70%	24,30%	31,51%	33,95%
16	30,01%	20,67%	17,71%	22,38%	30,08%	32,87%
17	28,52%	18,80%	15,85%	20,53%	28,61%	31,69%
18	27,02%	17,04%	14,15%	18,76%	27,11%	30,45%
19	25,52%	15,40%	12,58%	17,10%	25,61%	29,17%
20	24,03%	13,88%	11,16%	15,54%	24,13%	27,87%
21	22,58%	12,47%	9,88%	14,08%	22,67%	26,55%
22	21,16%	11,18%	8,72%	12,74%	21,26%	25,25%
23	19,79%	10,01%	7,68%	11,49%	19,89%	23,95%
24	18,48%	8,94%	6,75%	10,35%	18,57%	22,68%