

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

GESTÃO DA MANUTENÇÃO

**Implementação da Manutenção Centrada na
Confiabilidade em um forno elétrico a arco**

Fabício Leonardo de Sales

**Pindamonhangaba - SP
2023**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

GESTÃO DA MANUTENÇÃO

**Implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade
em um forno elétrico a arco**

Fabício Leonardo de Sales

Projeto de monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para graduação, no Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial.

Orientador: Me. Laercio Ferreira

**Pindamonhangaba - SP
2023**

S163gSales, Fabrício Leonardo de.
Gestão da Manutenção: Implementação da Manutenção Centrada na
Confiabilidade em um forno elétrico a Arco /Fabrício Leonardo de
Sales / FATEC Pindamonhangaba,2023.
55f.; il.

Orientador: Professor Me. Laércio Ferreira
Bibliografia (Graduação)– FATEC – Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba. 2023

1.FMEA.2.Manutenção Centrada na Confiabilidade 3. MCC. 4. Plano de
Manutenção. 5. Gestão da Manutenção.I.Sales, Fabrício Leonardo
de.II. Ferreira, Laércio. III. Título.


Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

GESTÃO DA MANUTENÇÃO
Implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade
em um forno elétrico a arco

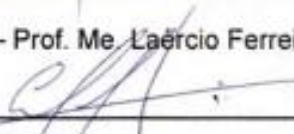
Fabício Leonardo de Sales

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
Tecnologia em Manutenção Industrial.

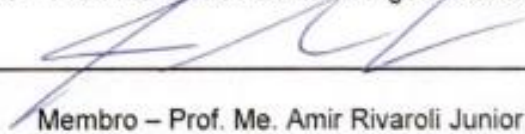
Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Me. Laércio Ferreira



Membro – Prof. Me. Carlos Eduardo Figueiredo dos Santos



Membro – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

Pindamonhangaba, 26 de junho de 2023.

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos que me incentivaram a conquistar mais esse objetivo na minha vida, além do professor e amigo Professor Laercio Ferreira, que me ajudou e orientou para a conclusão deste.

AGRADECIMENTO

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares, que proporcionaram toda condição necessária para a conclusão desta faculdade.

Ao Mestre Laercio Ferreira, pelo inestimável apoio na orientação deste trabalho.

Aos colegas de classe, com quem nesses anos de estudo tivemos a felicidade de conviver durante esta formação acadêmica.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer”.

Albert Einstein

SALES, Fabricio Leonardo de. **GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL- Implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em um forno de arco elétrico**. 2023. 35 p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2023.

RESUMO

A gestão da manutenção industrial tem como foco o aumento da confiabilidade dos ativos do sistema produtivo para que se possa garantir o atendimento eficaz da demanda. Para tanto, é necessário a aplicação de ferramentas diagnósticas que forneçam informações para colaborar durante o processo de tomada de decisão para a confecção de planos de manutenção eficientes, além da avaliação quantitativa da efetividade do equipamento para o controle e avaliação das medidas prospectadas. Desenvolver e aplicar um plano de ação para implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade de um forno de arco elétrico em uma siderúrgica, elaborando um Plano de manutenção baseado na metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). O resultado obtido, a elaboração das Planilhas através do uso da FMEA e a construção do Plano de Manutenção, mostraram a metodologia sendo aplicada em um exemplo prático e uma explicação não muito profunda das etapas, mostraram que as dificuldades para implementação são pequenas diante dos resultados que podem ser alcançados.

Palavras-chave: FMEA. Manutenção Centrada na Confiabilidade. MCC. Plano de Manutenção. Gestão da Manutenção.

SALES, Fabricio Leonardo de. INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT - Implementation of Reliability Centered Maintenance in an electric arc furnace. 2023. 35 p. Graduation Work (Industrial Maintenance Course). Pindamonhangaba College of Technology. Pindamonhangaba. 2023.

ABSTRACT

The management of industrial maintenance focuses on increasing the reliability of assets in the production system so that demand can be effectively met. Therefore, it is necessary to apply diagnostic tools that provide information to collaborate during the decision-making process for the preparation of efficient maintenance plans, in addition to the quantitative evaluation of the effectiveness of the equipment for the control and evaluation of the measures proposed. Develop and apply an action plan to implement Reliability-Centered Maintenance of an electric arc furnace in a steel plant, preparing a Maintenance Plan based on the Reliability-Centered Maintenance (MCC) methodology. The result obtained, the elaboration of the Spreadsheets using the FMEA and the construction of the Maintenance Plan, showed the methodology being applied in a practical example and a not very deep explanation of the steps, showed that the difficulties for implementation are small in face of the results that can be achieved.

Keywords: FMEA. Reliability Centered Maintenance. MCC. Maintenance plan. Maintenance management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Interrelações da gestão da manutenção	18
Figura 2	– Diagrama das ações geridas pela manutenção.....	19
Figura 3	– Atribuições do PCM	21
Figura 4	– Abrangência do sistema de manutenção	23
Figura 5	– Processo de fabricação do aço e ferro no setor siderúrgico	236
Figura 6	– Configuração de um forno elétrico a arco	28
Figura 7	– Diagrama de decisão do tipo de manutenção recomendada.....	31
Figura 8	– Etapas do processo da MCC	33
Figura 9	– Tabela – Índice de Severidade.....	Erro! Indicador não definido. 37
Figura 10	– Tabela – Índice de Ocorrência	38
Figura 11	– Tabela – Índice de Detecção.....	38
Figura 12	– Avaliação do Índice de Risco	39
Figura 13	– Modelo de Planilha de FMEA.....	39
Figura 14	– Estrutura metodológica da pesquisa.....	40
Figura 15	– Fatores relevantes para o sucesso de um Programa de MCC.....	43
Figura 16	– Procedimento de referência para a implantação.....	44
Figura 17	– Etapa zero - Adequação ao MCC	45
Figura 18	– Planejamento.....	46
Figura 19	– Critérios para a seleção do Sistema	46
Figura 20	– Relação de acessórios adotados do Forno Elétrico.....	47
Figura 21	– FMEA/ FMECA – Tipos e objetivos	47
Figura 22	– Planilha de FMEA	48
Figura 23	– Seleção das tarefas de Manutenção aplicáveis e efetivas	48
Figura 24	– Planilha do Plano de Manutenção.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução das práticas da Manutenção.....	17
Quadro 2 – Relação entre tipo de forno, liga e refratário na região do forno.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	16
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO	20
2.3 MANUTENÇÃO EM FORNOS NO SETOR SIDERÚRGICO	25
2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	30
2.5 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS	35
2.5.1 Sequência de Trabalho	35
3 METODOLOGIA	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 RESULTADOS	44
4.1.1- Etapa Zero - Adequação da MCC	44
4.1.2 - Etapa 1 - Planejamento	46
4.1.3 - Etapa 2 - Critérios para a seleção do Sistema	46
4.1.4 - Etapa 3 - FMEA/ FMECA – Tipos e objetivos	47
4.1.5 Etapa 4 - Planilha de FMEA	48
4.1.6 Etapa 5/6/7 - Plano de Manutenção; Definição dos intervalos iniciais	49
4.1.7 Etapa 8 - Planilha do Plano de Manutenção	50
4.2 DISCUSSÃO	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção deve ter como foco principal a elevação da confiabilidade dos ativos críticos do sistema produtivo para que se possa garantir o atendimento efetivo e eficaz da demanda. Para tanto, é necessário a aplicação de ferramentas diagnósticas que forneçam informações para colaborar durante o processo de tomada de decisão para a confecção de planos de manutenção eficientes, além da avaliação quantitativa da efetividade do equipamento para o controle e avaliação das medidas prospectadas.

Assim sendo, a pesquisa se delimitou a debater os impactos da implementação do programa Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que visa a promoção de altos índices de confiabilidade dos ativos. Isto porque é essencial assegurar a capacidade de produção e competitividade através da confiabilidade de um dos mais importantes recursos produtivos industriais na siderurgia, os fornos.

Desta maneira, buscou-se colaborar para o desenvolver um programa de gestão da manutenção que garanta a performance dos fornos elétricos a arco, além de outros fatores, como custo de manutenção, segurança e preservação do meio ambiente. Tendo isto em vista, observa-se que os altos padrões de produção exigidos no setor industrial para redução dos custos operacionais só podem ser atingidos a partir de altos índices de confiabilidade dos ativos do sistema produtivo.

Assim, para ajudar na identificação dos modos de falha, causas e os efeitos delas em fornos elétricos a arco, um dos equipamentos críticos de uma siderúrgica, além de avaliar e controlar os processos técnicos planejados visando o aumento da confiabilidade, disponibilidade e performance dos seus sistemas funcionais críticos. No forno a arco elétrico analisado compõe o sistema de produção de aços que seguem os mais rigorosos padrões de qualidade, necessitando a confiabilidade dos seus subsistemas funcionais para atender satisfatoriamente a demanda.

Portanto, para assegurar a efetividade operacional destes ativos irá promover ações técnicas e gerenciais voltadas a MCC, dentre elas, destacou-se nesta pesquisa os passos necessários para implementação deste programa de gestão da manutenção. Diante disto, observa-se que como a maioria das investigações sobre o tema, a pesquisa também buscou promover o conceito antagônico de uma maior performance dos equipamentos do sistema produtivo aos menores custos.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A principal premissa da gestão da manutenção é a elaboração eficaz dos planos de manutenção e a prospecção de controles consistentes que garantam a performance

produtiva esperada, além de prolongar o ciclo de vida útil dos sistemas e subsistemas funcionais dos ativos. Para tanto, deve se promover ações técnicas e gerenciais estratégicas, dentre elas, se destaca o programaMCC.

Deste modo, o problema da pesquisa foi alicerçado pela seguinte questão: Qual o impacto da implementação do MCC no aumento da confiabilidade e disponibilidade dos sistemas funcionais críticos do forno elétrico a arco de uma siderúrgica?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e aplicar, através de um estudo de caso, um plano de ação piloto para implementação da MCC de um forno elétrico a arco em uma siderúrgica.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) contextualizar a gestão da manutenção;
- b) descrever as ações e responsabilidade do planejamento e controle da manutenção;
- c) investigar as particularidades do MCC;
- d) relatar como é realizada a manutenção em partes dos ativos nos fornos elétricos a arco utilizado no setor siderúrgico;
- e) desenvolver um plano de ação piloto para implementação efetiva de um plano de manutenção baseado na metodologia MCC.

1.3 JUSTIFICATIVA

O alto nível de exigência para o atendimento das necessidades dos clientes e a competitividade exigidos no setor industrial só podem ser atingidos a partir de elevados índices de confiabilidade dos ativos físicos. Neste contexto, torna-se pertinente promover ações técnicas e gerenciais para que se possa assegurar o desempenho eficiente e eficaz dos sistemas e subsistemas funcionais para atender a demanda no prazo certo, nos menores custos e com a qualidade especificada.

Para tanto, é preciso ter o controle sobre as causas das falhas e seus efeitos para elevar a confiabilidade através da compatibilização das ações da manutenção com os objetivos e metas da empresa, evitando perdas no sistema por má gestão dos ativos. Este

tipo de controle pode ser realizado com a implementação de modelos de gestão como MCC, que busca auxiliar na análise da confiabilidade e combate as perdas da manutenção com objetivo de obter um valor maior que o investido em seus ativos e, o atendimento efetivo da demanda da empresa com altos índices de eficiência.

Assim sendo, a utilização de programas de gestão na manutenção é relevante para colaborar com o monitoramento e controle das ações da manutenção, visando a confiabilidade dos ativos através da diminuição das falhas e desperdícios da manutenção, além do aumento da produtividade e a redução dos custos produtivos com menos intervenções técnicas não planejadas.

Portanto justifica-se a discussão sobre as práticas para a implementação da MCC na gestão da manutenção de fornos a arco elétrico para assegurar a eficiência do sistema de manutenção, pois, estes modelos de gestão possibilitam uma maior confiabilidade através de um melhor direcionamento sobre quais as ações devem ser priorizadas pela manutenção.

Além disso, um plano de ação efetivo através da metodologia MCC se mostra pertinente não só para elevar a confiabilidade, mas também, para prolongar o ciclo de vida dos ativos e os intervalos entre reparos e, portanto, pode colaborar para elevar a competitividade do setor através da otimização das ações da manutenção no setor industrial brasileiro. Deste modo, busca-se expor uma das práticas para colaborar com a gestão de ativos no setor industrial, o MCC.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Constata-se que no setor industrial o “desempenho das organizações não é apenas responsabilidade da manutenção, contudo, a sua contribuição tem impacto em todas as áreas de negócio” (MARTINS, 2015, p. 3). Deste modo, visualiza-se que a manutenção deve promover “ações relacionadas a prevenção de falhas ou o estabelecimento de capacidades de recuperação após sua ocorrência” (SHIGUNOV NETO; SCARPIM, 2014, p. 55).

Segundo Almeida (2015), como toda gestão, a da manutenção deve planejar, dirigir, coordenar e organizar, em seu contexto, uma série de procedimentos técnicos e intervenções para manter o ótimodesempenho e performance de máquinas, equipamentos, peças, moldes e ferramentas. Assim, mostra-sepertinente reconhecer as melhores práticas para o direcionamento do sistema eficaz de gestão da manutenção.

Conforme relata Seleme (2015), a manutenção é a combinação de intervenções técnicas e processos gerenciais para manter e/ou restaurar o estado operacional ótimo dos ativos físicos, garantindo o equilíbrio produtivo de uma organização para que ela satisfaça eficientemente seus clientes. Assim sendo, a principal entrega da gestão da manutenção é a performance ótima dos ativos críticos.

De acordo com Gressler *et al.* (2020), a manutenção é um dos setores chaves para que os processos e operações da produção possam ser realizados com eficiência para garantir que os ativos físicos do sistema produtivo possam contribuir para o sucesso da organização de forma efetiva. A evolução dos conceitos, técnicas e métodos aplicadas à gestão dos ativos no setor industrial vem para consolidar os modelos de gestão da manutenção como parte efetiva da estratégia da organização.

Desta maneira, para Pulz (2020), a evolução da manutenção acompanha o da produção, sendo que quanto mais complexo e tecnológico o sistema de produção, maior é a importância da manutenção dos ativos responsáveis pelos processos e operações da produção. Assim sendo, a manutenção ganhou mais relevância no meio industrial pela percepção da relação entre custo e disponibilidade dos equipamentos, a escolha certa do tipo de manutenção que deve ser aplicada. O Quadro 1 as gerações e descrição de suas práticas e abordagens através da evolução da manutenção.

Quadro 1– Evolução das práticas da manutenção

Marcos evolutivos	Descrição das práticas
1ª Geração	Abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando os equipamentos eram simples. A produtividade não era prioridade, então, era realizados apenas serviços de limpeza e lubrificação, além de reparos após a quebra, caracterizando uma manutenção corretiva não programada.
2ª Geração	Entre os anos 1950 e 1970, houve aumento da mecanização e necessidade de maior disponibilidade, confiabilidade e produtividade. Os custos de manutenção começaram a se elevar e surgiu o conceito de manutenção preventiva.
3ª Geração	Inicia a partir da década de 1970, quando o sistema Just In Time fazia com que pequenas pausas para manutenção paralisassem a fábrica. A necessidade de monitoramento de condições deu origem à manutenção preditiva, facilitada pelo uso de tecnologias.
4ª Geração	A partir dos anos 1990, a manutenção ficou caracterizada pela minimização de manutenções corretivas e preventivas; análise de falhas; preocupação com segurança e meio ambiente; gerenciamento de ativos.
5ª Geração	Ocorre a partir de 2005, em que o foco é a gestão de ativos, que devem produzir em sua capacidade máxima para obter o melhor retorno. A manutenção preditiva ganha ainda mais atenção com o monitoramento das condições de forma <i>on</i> e <i>off-line</i> .

Fonte– Adaptado de Gregório e Silveira (2018)

Destaca Gregório, Prata e Santos (2018), as obrigações da manutenção são relacionadas ao planejamento; à organização; à execução; e ao controle da manutenção de ativos físicos. Desta forma, uma das principais atribuições direcionadas na gestão da manutenção é a criação de valor no plano de manutenção, onde todas as oportunidades de melhorias e responsabilidades da manutenção devem convergir com os objetivos e metas da produção.

Segundo Seleme (2015), os principais conceitos aplicados ao gerenciamento e controle da manutenção dizem respeito a:

- a) confiabilidade: utilizado como uma medida de desempenho, este conceito está ligado a capacidade de um ativo industrial desempenhar sua função requerida satisfatoriamente sob condições especificadas por um período;
- b) manutenibilidade: é uma medida de desempenho da manutenção que demonstra a facilidade que um ativo industrial tem de ser mantido ou reparado ao estado de operação ótimo dele;
- c) disponibilidade: é uma medida de desempenho que reflete a capacidade de um ativo industrial estar preparado para produzir em um dado instante durante um determinado intervalo de tempo.

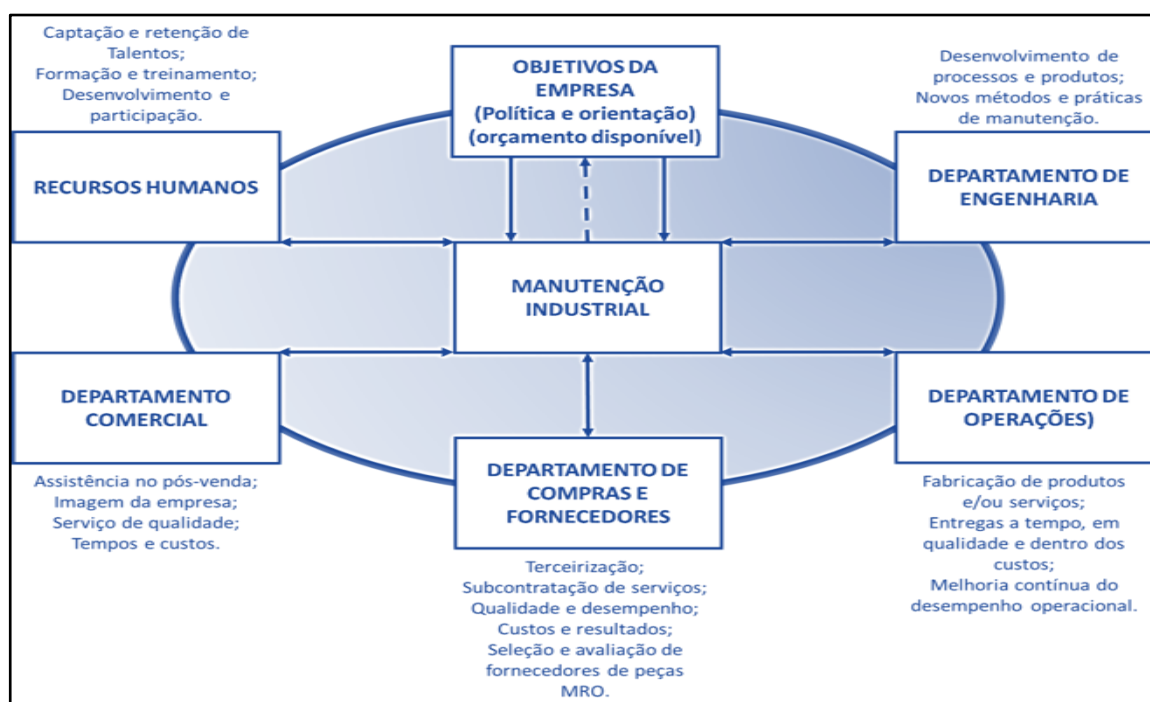
Reforça Bueno (2020), ser necessário aplicar métodos e técnicas que fomentem a melhoria contínua dos fatores e direcionamento do sistema de gestão da manutenção para estabelecer um padrão de confiabilidade no sistema produtivo. Um dos fatores chave para

ser gerido é pelo tempo-chave de reparo, que é o tempo de reação da manutenção para que as atividades sejam realizadas, que vai desde a aquisição de peças necessárias até a entrega do equipamento para a produção.

A evolução das práticas atuais de manutenção teve um enfoque empresarial, razão principal para a obtenção da competitividade, necessária à sobrevivência da empresa. Há um esforço conjunto em todas as áreas coordenadas pela sistemática da Gestão de Ativos. O engenheiro de manutenção deixou de ser apenas uma pessoa que conserta máquinas para ser um gestor de máquinas milionárias que estão no pátio da empresa, ou seja, sua função passou a ser garantir o programa de produção de acordo com as metas propostas pelos investidores da empresa (LUCATO; OLÍVIO; SOEIRO, 2017, p. 15)

Para atingir tal patamar, de acordo com Almeida (2015), deve-se atuar não só na concepção de todo o projeto das instalações, layout, escolha de ativos críticos e do pessoal, ou seja, todos fatores que integram os processos produtivos, como também, no desenvolvimento de tipos de manutenção e modelos de gestão que possam atender a cada necessidade da produção industrial, além de gerar ciclicidade nas ações para prospectar melhorias contínuas em manutenção futuras. A Figura 1 mostra a função da manutenção e destaca as principais atribuições que desempenha com cada um dos demais departamentos.

Figura 1 – Interrelações da gestão da manutenção



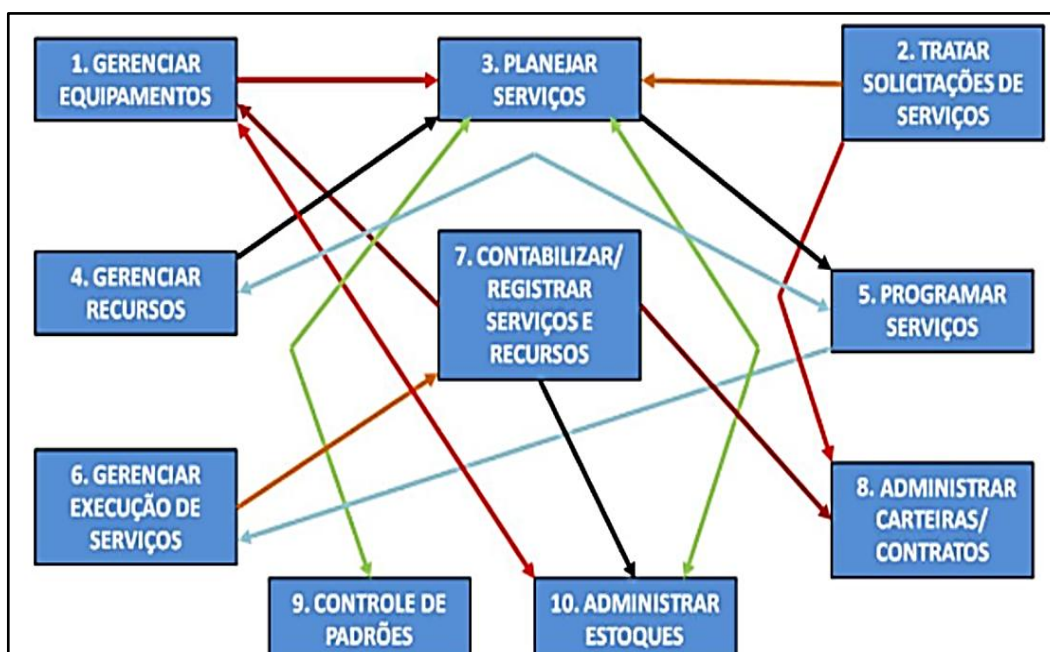
Fonte– Pinto (2016, *apud* Borlido, 2017)

Segundo Borlido (2017), os principais paradigmas da gestão da manutenção ao planejar suas ações devem ser a redução de custos e eliminação das perdas produtivas e de manutenção com paradas não previstas no plano, visando minimizar ao máximo os tempos de indisponibilidade dos sistemas e componentes dos ativos físicos, além de aumentar a segurança e fornecer informações e indicadores de desempenho para promover um ciclo de melhorias contínuas.

Segundo Bueno (2020), a efetividade das ações da gestão da manutenção Industrial deve ser fundamentada nas vantagens de qualidade, velocidade, confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade, flexibilidade e custo de produção. Esses fatores são atribuídos através da adoção de políticas e estratégicas que garantam a melhoria contínua e favoreça a inovação e integração das atribuições da manutenção.

Discorre Lucato, Olívio e Soeiro (2017), que as ações da manutenção devem ser tão complexas quanto os ativos, a tecnologia utilizada e a competitividade que se busca com elas. Desta maneira, um sistema de gestão de manutenção eficaz deve promover ações rápidas às solicitações da produção, ligada a todas as atividades da organização e suas respectivas interrelações, voltadas para a geração de resultados em um ambiente de alta competitividade. Na Figura 2 se apresenta um diagrama das atividades que integram a função manutenção, as setas e as numerações representam o possível fluxo realizado.

Figura 2 – Diagrama das ações geridas pela manutenção



Fonte – Araújo e Santos (2012, *apud* Bueno, 2020)

Conforme relata Dupont (2021), para desenvolver procedimentos eficientes de gerenciamento da manutenção é preciso ter um ganho mútuo entre as partes interessadas, principalmente entre o meio produtivo e o colaborador. Alguns dos benefícios que se pode destacar são quanto os registros de práticas seguras e eficazes para a padronizar as operações em seu estado ótimo, deste modo, além de garantir uma maior disponibilidade e confiabilidade das instalações, o colaborador pode ter seu desempenho aumentado.

Deste modo, de acordo com Lucato, Olívio e Soeiro (2017), a manutenção tem grande representatividade pela sua importante atribuição de manter o desempenho correto da transformação de entradas em saídas satisfatórias, ou seja, com a qualidade esperada, no tempo certo e aos menores custos. Com isso, observou-se também que sua função deve ir além de corrigir defeitos e falhas, ela deve agir estrategicamente para que o desempenho do sistema como todo possa melhorar continuamente até seu estado de máxima competitividade.

Por fim, conforme relata Cordeiro *et al.* (2021), para atender os novos requisitos e paradigmas competitivos são necessárias estratégias para a melhoria dos processos gerenciais da manutenção. Para tanto, surgiram novas metodologias, técnicas e ferramentas para colaborar não só com a otimização da performance dos ativos industriais, mas também, com a interação do departamento de manutenção com outras áreas funcionais ligadas a produção.

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

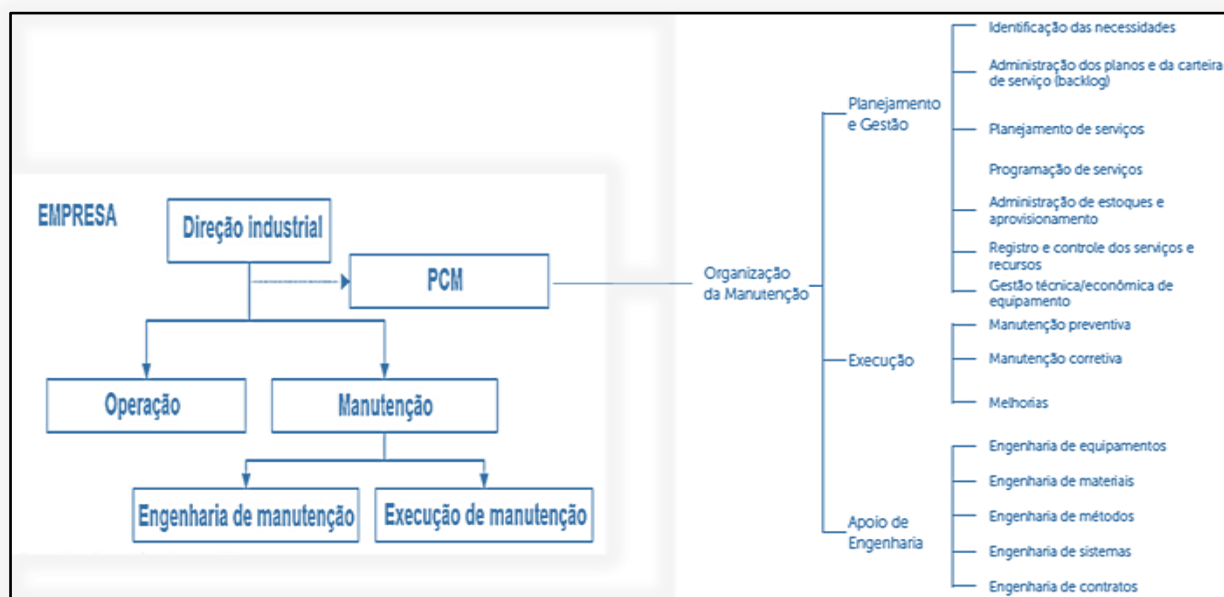
Segundo Seleme (2015), o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é um subdepartamento da gestão da manutenção que promove ações gerenciais para dar apoio tanto para as intervenções técnicas realizadas, como na tomada de decisão assertivas para elaboração dos planos da manutenção dos ativos do sistema produtivo. Assim, o PCM planeja as estratégias de longo prazo, programa as ações de médio prazo para concretizá-las e, por fim, no curto prazo avalia e controla as ações para que tudo saia como planejado.

Reforça Soares (2019), que o foco principal do PCM é o atendimento das necessidades da produção quanto a performance e desempenho de seus ativos, a redução dos custos com as operações e a melhoria contínua dos planos de manutenção que garantem a efetividade das ações do setor. Para tanto, ele trabalha como um departamento de suporte a gerência da manutenção, dando apoio as decisões empresariais e suporte aos setores operacionais e de engenharia.

Ressalta Lucato, Olívio e Soeiro (2017) que o PCM age através de ações que visam assegurar a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade dos ativos conforme a demanda da produção. Deste modo, o PCM deve contribuir de forma conjunta e efetiva com

outras áreas ligadas a produção, como, qualidade, segurança do trabalho e meio ambiente, por exemplo, para garantir que os processos possam ser efetivos, eficientes e eficazes. Na Figura 3 demonstra-se a estrutura mínima do setor de manutenção para contemplar as atividades de planejamento, organização e controle da manutenção, dando destaque as ações do PCM.

Figura 3 – Atribuições do PCM



Fonte – Adaptado de Lucato, Olívio e Soeiro (2017)

Posto isto, o PCM, conforme relata Gregório, Prata e Santos (2018), deve assumir as seguintes responsabilidades, são elas:

- planejar em conjunto com a planejamento e controle da produção as ações para manutenção e reparos da gestão de ativos da empresa;
- propor atividades gerenciais e técnicas para preservar o desempenho ótimo das instalações, equipamentos e máquinas visando a minimização de custos com paradas não previstas nos planos da manutenção;
- executar os planos de manutenção e controlar as intervenções técnicas para os reparos e consertos, tanto eventuais quanto emergenciais, no menor prazo possível;
- planejar as atividades de conservação rotineira para limpezas, ajustes, lubrificação, buscando que a maior disponibilidade possível para a produção;
- integrar a manutenção a gestão produção para troca de informações e diagnósticos de problemas relacionados a manutenção;
- utilizar ferramentas gerenciais diagnósticas e analisar os indicadores de desempenho de equipamento para eliminar as causas;

- g) promover ações para melhorias contínuas do sistema de gestão da manutenção da organização;
- h) executar treinamentos para os funcionários da produção sobre procedimentos emergenciais recomendados em caso de necessidade.

Desta maneira, conforme destaca Lucato, Olívio e Soeiro (2017), para organizar as ações do PCM na busca do mapeamento dos ativos críticos do sistema produtivo, relacionando suas características e indicadores importantes para antecipar riscos e falhas potenciais, como o modo da falha, vida útil, tempo médio entre falhas e para definir intervalos de inspeções e paradas programadas.

Conforme relata Shigunov Neto e Scarpim (2014), o PCM colabora com as ações gerenciais, técnicas e econômicas relacionadas as atividades para manter o estado operacional visando a otimização do ciclo de vida dos equipamentos e máquinas de um sistema de produção. Além disso, o PCM também deve assumir a responsabilidade por ações integradas para diminuição dos impactos ambientais e para promover uma maior segurança para os operadores.

Os gestores do PCM são responsáveis por justificar os investimentos em manutenção em função da disponibilidade do equipamento ou instalação, evitando as paradas não programadas por falhas, a fim de que o planejamento da produção não seja afetado no que corresponde à entrega do produto ao cliente final (LUCATO; OLÍVIO; SOEIRO, 2017, p. 118).

Portanto, de acordo com Gregório, Prata e Santos (2018), uma das principais atribuições do PCM na gestão da manutenção é colaboração na confecção do plano de manutenção, que tem como foco principal a busca do estado de performance e desempenho ótimo dos ativos responsáveis pela manufatura, além de zelar também pelo meio ambiente e pelo bem-estar e segurança dos funcionários, clientes e sociedade.

Conforme relata Gregório e Silveira (2018), o plano de manutenção trata-se de um documento que estabelece quais serão as atividades de manutenção e intervenções para cada equipamento, máquina ou componente que necessita de atenção para que o sistema produtivo tenha o desempenho exigido.

Desta forma, segundo Gregório, Prata e Santos (2018), o PCM deve programar o momento certo do reparo, troca, restauração e/ ou monitoramento e controlar os procedimentos adotados, os recursos materiais e mão-de-obra envolvida, entre outros. As avaliações do plano e de sua execução são fundamentais para gerar feedbacks e direcionar as próximas ações para um ciclo de melhorias contínuas.

Portanto, de acordo com Lucato, Olívio e Soeiro (2016), o PCM deve planejar, orientar e controlar todas as responsabilidades necessárias para efetivar os planos da manutenção. Essas atribuições vão desde a programação da ordem de serviço, confecção

de manuais, contatos com os fabricantes, além da sua execução e entrada final no sistema. A Figura 4 ilustra os componentes de um sistema de manutenção que devem estar sob o controle do PCM.

Figura 4 – Abrangência do sistema de manutenção



Fonte –Lucato, Olívio e Soeiro (2017)

Destaca Seleme (2015), que as áreas ligadas a produção devem interagir com o PCM para fazer “o sistema de manutenção rodar”, as principais são o financeiro (custos das intervenções); planejamento e controle da produção (nível de criticidade e disponibilidade dos equipamentos para efetividade de seus resultados); logística (materiais de reparos e operações necessários para as intervenções); recursos humanos (gestão do capital humano da manutenção e possíveis terceirizados); segurança e saúde do trabalho (prevenção de riscos ambientais durante as intervenções técnicas); e meio ambiente (impactos ao meio ambiente e possíveis resíduos das atividades realizadas).

Segundo Bueno (2020), para assegurar a efetividade dos planos de manutenção e sua melhoria contínua ele deve ser dinâmico e ter diferentes abordagens adaptativas para cada ativo do sistema analisado. Para se chegar a esse patamar deve-se sempre analisar o histórico de intervenções e indicadores para determinar o melhor momento de realizar as atividades e intervenções da manutenção sem que atrapalhem os planos e metas da produção.

Ressalta Seleme (2015), que para o plano de manutenção ser eficiente e atender às necessidades da produção e demais áreas com tomadas de decisão integradas a manutenção não pode se ter alta complexidade, devendo ser simplificado ao máximo. Inicialmente, deve se estabelecer metas e objetivos por meio de normas e procedimentos de trabalho, tendo como objetivo um melhor aproveitamento dos ativos responsáveis pela

produção dos bens.

De acordo com Lucato, Olívio e Soeiro (2017), é primordial que a entrega do PCM, realizado de forma eficiente, resulte no estabelecimento de estratégias, políticas e na estrutura da manutenção para que, através do plano mestre que guiará o sistema de manutenção, todos os processos produtivos e subprocessos ao longo da cadeia produtiva da empresa possam ter a performance esperada.

Posto isto, observa-se que este plano é uma das principais entregas do planejamento da produção e para o controle, segundo Bueno (2020), o PCM deve utilizar ferramentas diagnósticas e técnicas de controle de processos da qualidade para sugerir assertivamente soluções para o monitoramento e controle dos ativos críticos do processo, garantido a satisfação plena das expectativas e desejos do cliente, que no caso da manutenção, é a produção, que tem como foco o aumento da produtividade e a redução dos custos relacionados a eliminação de perdas e desperdícios da produção.

Deste modo, segundo Lucato, Olívio e Soeiro (2017), o PCM deve coordenar e ajudar a controlar os parâmetros prospectados como ideais para que a manutenção realizada possa ser eficaz. A fixação destas premissas ocorre através da adoção de ferramentas organizacionais, de técnicas de planejamento, da estruturação do sistema de gerenciamento e da capacitação e do treinamento dos profissionais da área de manutenção, além é claro, da correta definição das técnicas de qualidade para a mensuração de indicadores de desempenho da manutenção que reflitam as reais necessidades do sistema produtivo.

Outra importante atribuição do PCM, de acordo com Gregório, Prata e Santos (2018), é o planejamento da parada programada, que deve fazer parte do plano de manutenção de ativos críticos, cujas consequências da falha são graves para competitividade da empresa, pois podem afetar áreas-chaves, como produção, qualidade, custo, segurança, meio ambiente e outros que a indústria julga importantes.

Segundo Bueno (2020), o planejamento da parada programada deve ser realizado como um projeto, ou seja, cada parada é um evento único e isolado para um resultado único, que no caso, é a restauração do padrão de performance ótima dos equipamentos e máquinas críticas para o sistema. Portanto, para o seu planejamento são utilizadas as melhores práticas e ferramentas gerenciais para projetos.

Relata Shigunov Neto e Scarpim (2014), que também é atribuído ao setor de PCM a administração das informações e análises de resultados, para, assim, auxiliarem gerentes (de produção, de operações e de manutenção) nas tomadas de decisões estratégicas relativas à gestão de ativos e de produção, assim como, na definição do cronograma de paradas do maquinário. Para tanto são realizadas solicitações e ordens de serviço da manutenção assim como a produção.

Por fim, conforme relata Gregório e Silveira (2018), o PCM tem como meta a

eficiência das operações técnicas da manutenção, além da redução de custos e elevação da competitividade com a aplicação das melhores técnicas para evitar intervenções técnicas não planejadas, prospectando melhorias também no aspecto gerencial da manutenção para que a organização atinja os resultados esperados.

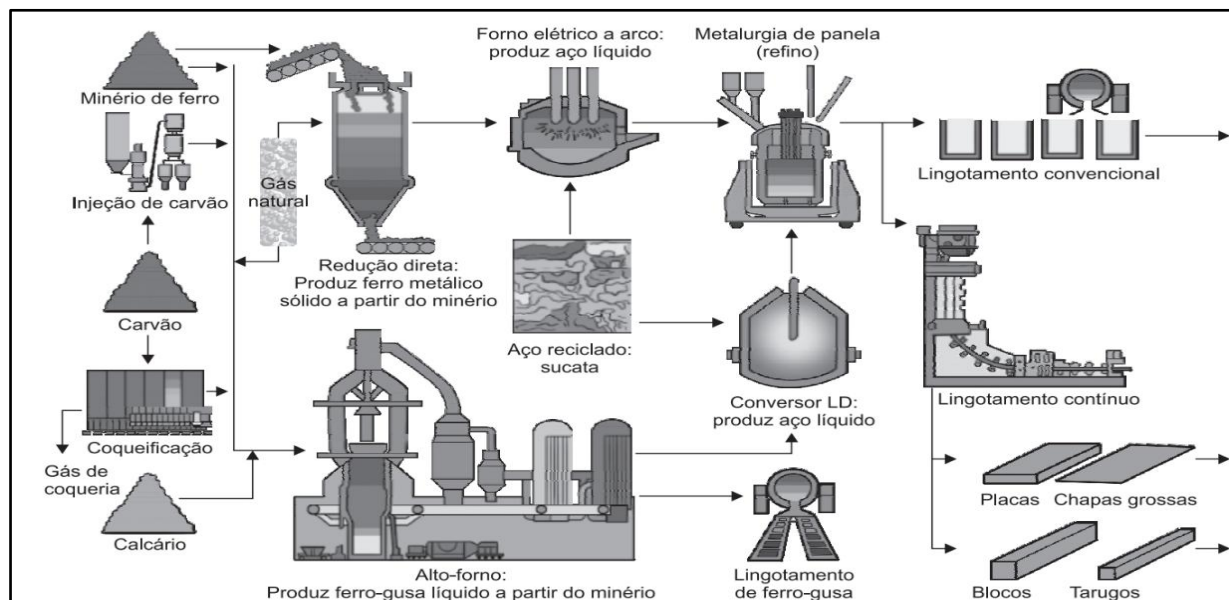
2.3 MANUTENÇÃO EM FORNOS NO SETOR SIDERÚRGICO

Conforme relata Tâmega (2017), quando a humanidade passa a utilizar os metais, acontece uma grande mudança do ponto de vista de fabricação e funcionalidade dos objetos e utensílios. Quando o processo de produção do ferro, extraído do minério de ferro, começa a se desenvolver através dos processos siderúrgicos modernos ocorre uma revolução que possibilita melhorar a qualidade da liga metálica obtida, e também a produtividade. Na siderurgia moderna, os altos-fornos e os conversores são equipamentos fundamentais para a produção do ferro e aço.

Segundo Santos (2015), a obtenção de materiais metálicos envolve um conjunto de operações, cujo número e complexidade dependem do minério e do metal considerados. A extração de um metal constitui o campo de estudos da Metalurgia Extrativa, já seu refino constitui o campo da Metalurgia do Refino. O conjunto da Metalurgia Extrativa e da Metalurgia de Refino dos materiais metálicos é denominado Siderurgia.

Reforça Castro, Kiminami e Oliveira (2017), que o fluxo de produção mais comum no setor siderúrgico compreende: 1) Minério de ferro, carvão e calcário. 2) Processo de redução direta do minério para metal (liga ferro-carbono) ou pelo alto-forno, que produz ferro-gusa a partir do minério. 3) Produção de aço líquido na aciaria, por meio de fornos elétricos ou por conversores, podendo existir refino secundário do material para obtenção da composição do aço desejado no forno panela. 4) Lingotamento, que é a solidificação do material metálico (aço) em moldes convencionais ou por lingotamento contínuo, para posterior utilização em processos mecânicos para obtenção de produtos de aço. Na Figura 5 é apresentado um esquema do principal processo produtivo da indústria siderúrgica.

Figura 5– Processo de fabricação do aço e ferro no setor siderúrgico



Fonte – Santos (2015)

Segundo Tâmega (2017), os fornos são utilizados para viabilizar os processos produtivos com metais e suas ligas, pois, eles necessitam estar no estado líquido para que seja manufaturado. Os fornos podem ter mais de um tipo de classificação, sendo, em geral, divididos de acordo com a fonte de energia utilizada, eletricidade ou combustível, e pelo modo de operação, cadinho, revérbero, de cuba, entre outros. Os fornos a combustível apresentam, geralmente, mais economia no aquecimento que os elétricos.

Em torno de 60% da produção mundial de aço é obtida a partir do alto-forno. O alto-forno constitui o principal aparelho utilizado na siderúrgica. Também é chamado de forno de primeira fusão, pois é nele que ocorre a primeira transformação do minério de ferro em uma liga ferrosa, que é o ferro-gusa ou ferro fundido de primeira fusão. O alto-forno é um reator de forma tubular e de funcionamento contínuo, voltado para a produção de ferro-gusa. O ferro-gusa é um produto primário, obtido no estado líquido, que pode ser definido como a forma intermediária do ferro utilizado na produção de aço e empregado nas fundições para produção de ferro fundido (SANTOS, 2015, p. 103).

O objetivo principal das operações de produção e manutenção de fornos siderúrgicos segundo Gasparini (2016) é produzir ferro-gusa e aço com segurança ao menor custo e de acordo com as especificações e parâmetros técnicos do setor. Para atingir esse objetivo, muitos esforços têm sido feitos nos últimos anos, como melhoria da qualidade da matéria-prima, melhoria no controle da qualidade e confiabilidade de equipamentos e instalações, e

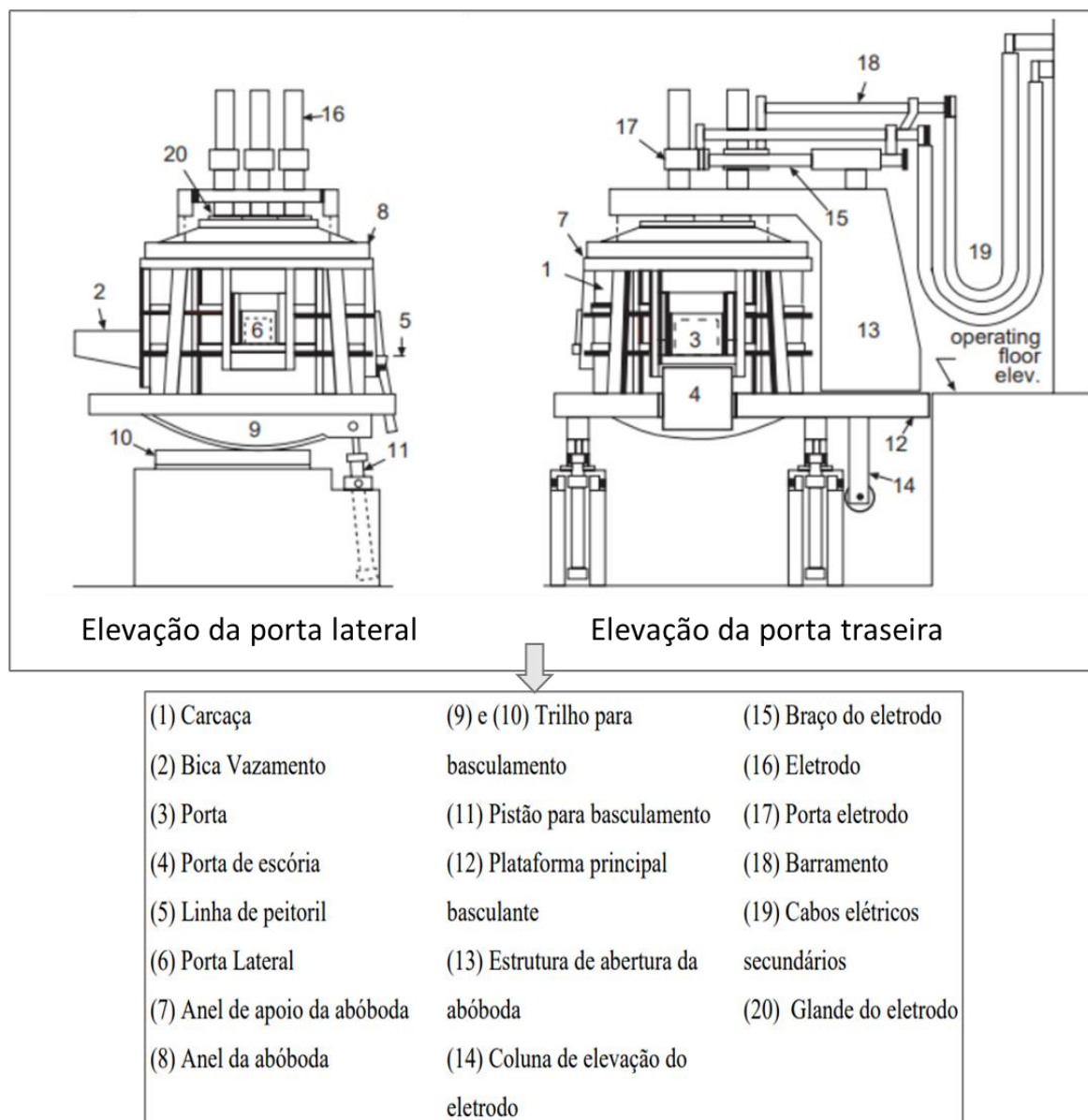
investigações teóricas dos mecanismos do processo.

Reforça Tâmega (2017) que no caso de a fonte de energia utilizada ser combustível, podemos citar o forno cubilô, sendo o mais conhecido deste tipo o alto-forno, muito utilizado nos processos siderúrgicos por serem os mais economicamente viáveis, que opera por meio do método de contracorrente, tendo a carga metálica e o coque descendo, e os gases subindo. Já no forno elétrico, a indução à corrente elétrica alternada passa por uma bobina, gerando a corrente elétrica induzida na carga metálica, fazendo com que a resistência elétrica seja aquecida, fundida e sobreaquecida. Contudo, os fornos elétricos são menos poluentes no local de trabalho, têm maior facilidade de automação, melhor homogeneidade de composição e temperatura pela agitação gerada no metal, melhor controle de temperatura e da potência aplicada sobre o metal.

De acordo com Santos (2015) os fornos elétricos a arco são os mais difundidos na indústria em função da versatilidade e da eficiência na produção de aço. O autor explica que o calor necessário é produzido por arcos voltaicos, que se obtêm entre os eletrodos de grafite e o próprio metal a se fundir. O aço obtido no forno elétrico possui elevado grau de pureza. Podem-se obter aços para ferramentas e aços especiais para construções mecânicas.

Conforme relata Diniz (2018), existem opções modernas de fornos elétrico a arco, que oferecem maior produtividade e eficiência, ao utilizar outra configuração e característica de forno, ao invés de forno com basculamento na dianteira para vazamento da corrida de aço e na parte traseira para vazamento da escória. Por causar muitas interferências e atrasos, este não é recomendado para produção de grande escala. Na Figura 6, está um esquemático com as partes de um forno elétrico a arco.

Figura 6 – Configuração de um forno elétrico a arco



Fonte –Diniz (2018)

De acordo com Castro, Kiminami e Oliveira (2013), os fornos elétricos a arco, com câmaras em dimensões de 3 a 7 m de diâmetro, utilizam o calor gerado pela abertura de um arco elétrico entre eletrodos de grafita, que tem diâmetros de 15 a 50 cm. Esses fornos têm alta taxa de fusão, com capacidade tipicamente na faixa de 0,5 a 180 toneladas, são pouco poluentes e permitem a manutenção da alta temperatura por longo tempo. Eles também favorecem a fusão de ligas que necessitam de procedimentos para a adição de elementos

de liga e possibilitam, a baixo custo, além de possibilitar o uso de sucata de aço sem limpeza.

Segundo Cotta e Rodrigues (2014), a manutenção em fornos siderúrgicos são mecânicos e elétricos externamente, geralmente durante ações de manutenção preventivas e corretivas e nos refratários cerâmicos internamente, preditiva e preventivamente. Os refratários constituem a solução mais apropriada aos problemas de manutenção de altas temperaturas nos processos, e ainda resistem a solicitações químicas e mecânicas. O material refratário é aplicado entre a superfície metálica (carcaça do equipamento) do forno e o meio corrosivo (metal líquido e escória) e determina a eficiência do aquecimento convectivo. Como apresentado no Quadro 2 cada tipo de forno usa um tipo de refratário diferente dependendo do tipo de liga metálica que será aquecida.

Quadro 2 – Relação entre tipo de forno, liga e refratário na região do forno

Tipo de forno	Tipo de liga	Tipo de refratário
CADINHO	Alumínio, chumbo, magnésio, zinco	Em contato com metal: ferro fundido, aço, grafite, carbureto de silício; Tampa: silicoso ou aluminoso; Isolamento térmico: silicoso.
	Cobre	Em contato com metal: grafite, carbureto de silício; Tampa: silicoso ou aluminoso; Isolamento térmico: silicoso.
	Ferro Fundido	Em contato com metal: carbureto de silício; Tampa: silicoso ou aluminoso; Isolamento térmico: silicoso.
FORNOS DE INDUÇÃO	Alumínio, zinco, cobres, ferros fundidos	Em contato com metal: carbureto de silício, silicoso, aluminoso; Tampa (quando existente): silicoso ou aluminoso; Canal de corrida: aluminoso; Isolamento térmico: silicoso ou aluminoso.
	Aços	Em contato com metal: magnesiano, aluminoso; Tampa (quando existente): silicoso ou aluminoso; Canal de corrida: aluminoso; Isolamento térmico: silicoso ou aluminoso.
FORNOS ELÉTRICOS	Não ferrosos e ferrosos fundidos	Em contato com metal: silicoso ou aluminoso; Abóbada: silicoso ou aluminoso; Área dos eletrodos: aluminoso ou magnesiano; Canal de corrida: aluminoso; Isolamento térmico: silicoso ou aluminoso.
	Aços	Em contato com metal: magnesiano, cromo-magnesiano, magnésia-carbono, dolomítico; Abóbada: silicoso ou aluminoso; Área dos eletrodos: aluminoso ou magnesiano; Canal de corrida: aluminoso; Isolamento térmico: silicoso ou aluminoso.
FORNO CUBILÔ	Ferros fundidos	Silicoso, neutro ou básico.

Fonte – Adaptado de Baldan e Vieira (2013, *apud* Tâmega, 2017)

Segundo Diniz (2018), podem ser encontrados fornos de corrente contínua e de corrente alternada, porém no Brasil, é predominante a utilização de fornos a arco de corrente alternada. O autor cita como vantagens dos fornos elétricos sobre os a combustível:

- a) pode atingir temperaturas mais elevadas, estas são limitadas apenas pela resistência ao calor do refratário que reveste o forno;
- b) carga metálica sem contato com os gases combustíveis e, portanto, não há contaminação de elementos prejudiciais presentes nos mesmos;
- c) é possível controlar todas as fases de operação com regulação precisa, e manter sua estabilidade de funcionamento;
- d) o forno elétrico oferece a possibilidade de ser operado com ou sem escória conforme conveniência da operação, refino ou simples fusão;
- e) apresenta resultados de maior rendimento metálico devido à redução das perdas de fusão e devido à possibilidade de redução de refugos.

Segundo Gasparini (2016), a manutenção dos fornos deve garantir não só a eficiência produtiva, mas também, a segurança e diminuição dos impactos ambientais. Para solução desses problemas são realizadas como medidas preventivas medições de gases, execução de serviços de manutenção no revestimento refratário e análises investigativas para manutenção de temperatura no interior do forno.

Relatam Cotta e Rodrigues (2014), que as propriedades e especificações técnicas para manutenção dos refratários de fornos dependem basicamente da posição de aplicação ao longo do forno, do tipo de interação com as matérias-primas e dos produtos das reações de transformações metalúrgicas dentro do forno, tais como: características das matérias-primas; interação sólido-sólido, sólido-gás e sólido-líquido; temperaturas e gradientes térmicos; qualidade do ferro gusa; volume de escória; ciclos operacionais de aberturas para vazamento do gusa/escória.

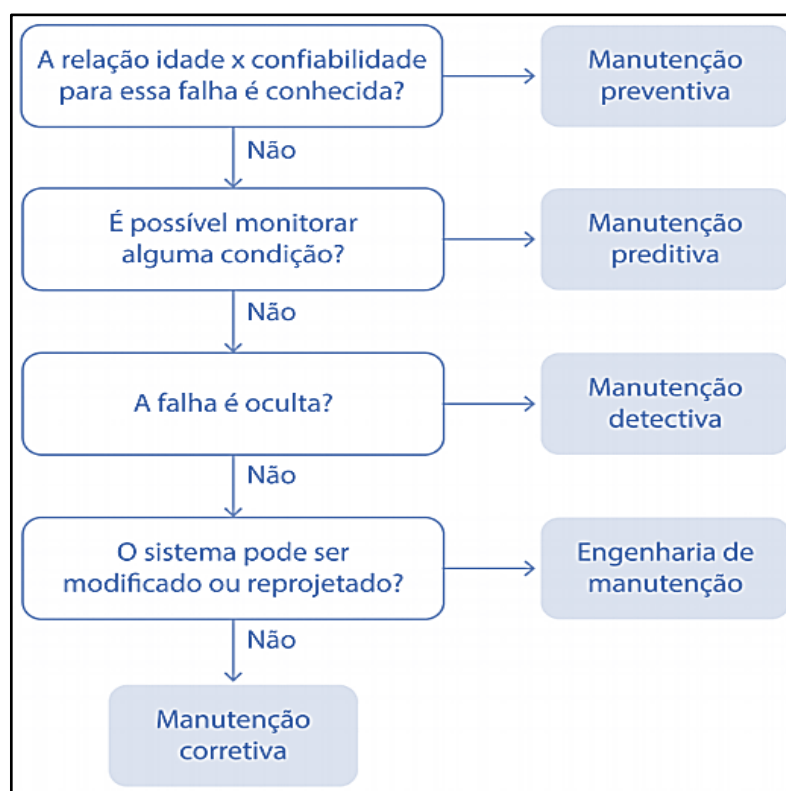
Por fim, para a manutenção dos fornos siderúrgicos, segundo Belo (2019), devida a sua alta criticidade para o processo, a metodologia mais utilizada é a Manutenção Centrada na Confiabilidade, que visa garantir que um equipamento continue a exercer suas funções eficientemente, identificando os modos de falhas para garantir o funcionamento de equipamentos críticos para os processos produtivos. Geralmente para viabilizar a confiabilidade são aplicados métodos e ferramentas para o gerenciamento e controle da qualidade das operações realizadas.

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A MCC, de acordo com Gregório e Silveira (2018), ganhou destaque como um dos principais programas de gestão da manutenção em 1978, com a publicação pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos de um livro estabelecendo processos, direcionamentos e diretrizes para estruturar um gerenciamento eficiente de equipamentos, máquinas e instalações por meio da análise de suas possíveis falhas e suas causas, buscando eliminá-las através de ações da manutenção proativas.

Conforme relata Duarte e Fogliato (2009), o modelo de gestão da manutenção MCC deve priorizar atividades técnicas e intervenções proativas, reduzindo as não planejadas. Como pode ser visto no diagrama da Figura 7, a primeira questão verifica se é possível antecipar falhas e, em caso positivo, encaminha para atividades preditivas, preventivas, detectiva ou Engenharia de Manutenção.

Figura 7 – Diagrama de decisão do tipo de manutenção recomendada



Fonte – Gregório, Prata e Santos (2018)

Desta maneira, conforme ressalta Gregório, Prata e Santos (2018), a MCC colabora para elaboração dos planos de manutenção, políticas e tipos de manutenção para cada ativo no sistema de produção, principalmente, os tidos como críticos. Desta forma, devem ser realizadas análises para identificar particularidades dos ativos e mensurar sua criticidade, as possíveis causas para suas falhas, além de estabelecer quais serão as consequências para estabelecer o nível de confiabilidade de cada ativo.

Segundo Gregório e Silveira (2018), as estratégias e técnicas que alicerçam o MCC tem alguns objetivos bem definidos, os principais dizem respeito da manutenção das funções ideais do sistema; analisar e controlar as causas das falhas que podem causar variações nas funções ideais do sistema; estabelecer a confiabilidade necessária para cada item físico do sistema; além de planejar intervenções preventivas para as falhas com maior potencial de gerar perdas produtivas.

Ressalta Almeida (2015), existem sete etapas para implementação do MCC, são elas:

- a) seleção do sistema e coleta de informações: estabelece medidas de coleta de dados para mapear e registrar todos os processos e operações que serão alvo da análise;
- b) análise de modos de falha e efeitos: identifica as causas de falhas e seus potenciais consequências, utilizando-se a ferramenta diagnóstica FMEA (*Failure Model and Effect Analysis* ou Análise do Modo de Falha e seus Efeitos);
- c) seleção de funções significantes: determinar se a falha em potencial afeta os paradigmas da MCC quanto ao custo da intervenção, segurança da operação, impactos ambientais, e eficiência operacional;
- d) seleção das atividades aplicáveis: desenvolver os tipos de manutenção preferenciais, prioritariamente preventivas, para eliminar as possíveis causas de falhas para cada equipamento;
- e) avaliação da efetividade das atividades: controlar e avaliar se as atividades preventivas elencadas são efetivas em reduzir as falhas;
- f) seleção das tarefas aplicáveis e efetivas: seleciona estratégias e ações mais efetivas em manter a confiabilidade dos sistemas e subsistemas funcionais;
- g) definição da periodicidade das atividades: são realizadas uma série de análises para estabelecer a confiabilidade, manutenibilidade, produtividade e possíveis otimizações das estratégias e atividades necessárias para manter o sistema em seu estado operacional ótimo.

Relata Gregório e Silveira (2018), que a MCC no setor industrial colabora para o bom desempenho dos ativos ao promover atividades para restaurar a segurança e confiabilidade, após a deterioração. As medidas e estratégias do MCC devem ser documentadas para promover a melhoria contínua das atividades, tendo potencial de otimizar a disponibilidade dos ativos, colaborar para acelerar a depreciação do equipamento e a redução dos custos de sua manutenção ao desenvolver apenas as atividades que agregam valor. Para tanto, ele atua nas causas das falhas com a busca da eliminação de seus efeitos.

Ressalta Gregório e Silveira (2018), que a organização e implantação de um modelo de gestão da manutenção é realizado por meio de uma estrutura lógica e sistemática para

facilitar o processo, além de se possibilitar ajustes e avaliações para uma gestão cíclica visando melhorias contínuas do processo. Assim, a MCC pode ser implementada por meio de um conjunto de etapas, apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Etapas do processo da MCC



Fonte – Gregório e Silveira (2018)

Segundo Duarte e Fogliato (2009), a FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Reforça Lobo (2020), que o formulário FMEA é um documento “vivo”, ou seja, uma vez realizada uma análise para um processo qualquer, ela deve ser revisada não só quando ocorrerem alterações, mas também, mesmo que não haja alterações, deve-se revisar

regularmente a análise, confrontando as falhas potenciais prospectadas, de modo a permitir a incorporação de falhas não previstas, bem como a reavaliação, com base em dados objetivos, das falhas já previstas pelo grupo de trabalho.

A primeira etapa consiste em escolher o sistema a ser analisado, definir um limite de análise e conhecer as interfaces que esse sistema tem com outros sistemas. Em seguida, deve-se definir as funções a serem desempenhadas pelo equipamento na instalação para que a operação possa funcionar adequadamente e definir o padrão de desempenho esperado (se possível, quantificar por meio de indicadores). Então, pode-se fazer uma análise de falhas questionando: “Como o item pode falhar?”; “O que pode causar a falha?”. A aplicação da FMEA pode auxiliar a estimar o risco de uma falha para auxiliar no processo de priorização. A FMEA avalia o risco de uma falha por meio da severidade, ocorrência e detecção da mesma. Após as falhas serem classificadas e priorizadas, deve-se elaborar o plano de manutenção (GREGÓRIO; SILVEIRA, 2018, p. 74-75).

Conforme relata Lobo (2020), a análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificam, para um produto/processo e suas funções, os tipos de falha que podem ocorrer, os efeitos e as possíveis causas dessa falha. Em seguida, são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nessa avaliação, são adotadas as ações necessárias para diminuir os riscos, aumentando a confiabilidade do produto/processo.

Segunda Gregório, Prata e Santos (2018), que a identificação da estratégia mais adequada de manutenção pode tornar o plano de manutenção mais assertivo e permitir que a indústria possa usufruir dos benefícios da MCC. A FMEA, ferramenta muito utilizada na implantação da MCC, busca auxiliar o processo de identificação e priorização das falhas por meio da estimativa do seu risco. A Figura 6 apresenta o formulário utilizado para aplicar a FMEA.

Conforme relata Gregório e Silveira (2018), a FMEA auxilia no processo de priorização e, assim, permite concentrar esforços e definir a estratégia mais adequada de manutenção. A FMEA, inicialmente, faz a identificação do produto (ou do ativo, no caso da manutenção), de suas funções, falhas, efeitos e causas das falhas e faz uma estimativa de risco. Essa estimativa ocorre por meio da:

- a) severidade (S): qual é a consequência da falha para o cliente interno, externo, para a empresa e para os critérios que são considerados importantes? Quanto maior a severidade, maior será o risco da falha;
- b) ocorrência (O): qual é a frequência de acontecimento desta falha? Quanto maior a frequência, maior será o risco da falha;
- c) detecção (D): quão difícil é detectar a ocorrência desta falha? Quanto mais fácil detectar a falha, menos o risco da mesma;

d) risco (R): somatório dos outros índices que resulta no grau de risco do componente e/ou equipamento falhar.

Portanto, de acordo com Gregório, Prata e Santos (2018^a), a FMEA é uma ferramenta muito utilizada na implantação da MCC, buscando auxiliar o processo de identificação e priorização das falhas por meio da estimativa do seu risco. A Figura 9 apresenta o formulário utilizado para aplicar a FMEA.

2.5 ANÁLISE DO MODO DE FALHA E SEUS EFEITOS: FMEA

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), o FMEA pode ser definido como uma técnica de confiabilidade que visa assegurar que os problemas potenciais ou as falhas tenham sido consideradas e abordadas ao longo do desenvolvimento do produto e do processo, identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões futuras do processo ou projeto.

O FMEA pode ter três níveis de aplicações, o de sistema, de processo e o de projeto descritos abaixo. (KARDEC; NASCIF, 2009).

FMEA de sistemas: pode ser definido como o nível mais alto de análise a ser realizada, preocupa-se com as falhas potenciais e gargalos de todo o processo, avaliando cada subsistemas da produção. Este tipo de análise avalia as interfaces e a integração de maneira ampla, ao invés de considerar apenas falhas singulares.

FMEA de processo: foca na análise detalhada de todas as etapas, procedimentos e operações do processo, na busca dos modos potenciais da falha. O escopo dessa ferramenta frequentemente inclui processos de manutenção, transporte de peças, operações e os processos já citados anteriormente como manufatura e montagem.

FMEA de projeto: está focado no estudo do design do produto, é analisado detalhadamente o produto final, seus componentes e subsistemas. O Objetivo de se aplicar o FMEA de projeto é para assegurar que os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos e causas serão considerados e discutidos.

A aplicação do FMEA não se restringe somente nesses três níveis citados acima, pode ser aplicado em outros níveis e em variados tipos de empresas, todos com o intuito de se realizar melhorias e identificar falhas.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), o FMEA tem como objetivo:

- Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo;

- Identificar ações que possam eliminar e reduzir a chance de ocorrência dessas falhas;
- Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), é necessário conhecer a definição dos conceitos utilizados para a aplicação do FMEA.

- FALHA: Perda de função ou performance do equipamento quando ela se faz necessária.
- MODO DE FALHA: São as categorias de falhas que normalmente são descritas, ou seja, maneira com que o item quebra ou deixa de apresentar o resultado desejado.
- EFEITO DA FALHA: Impacto ou consequência que a falha traz ao processo
- CAUSA DA FALHA: É meio pela qual é gerado o modo de falha
- Ocorrência de falha: Quantas vezes isso já aconteceu ou tem probabilidade de acontecer.
- Severidade de falha: Indica a gravidade e severa da falha ao afetar o item em análise.
- Detecção de falha: Qual a possibilidade de encontrar essa falha antes que ela ocorra.
- RPN: *Risk priority number (Número da prioridade de Risco)*: É o valor do risco calculado que fica associado ao modo de falha. Esse valor é a multiplicação dos níveis de ocorrência, severidade e detecção.

2.5.1 Sequência de trabalho

A sequência das tarefas a serem executadas para determinar a taxa de risco de falha é descrita por Kardec e Nascif (2009).

- I. Isolar e descrever o modo de falha potencial:
Sob que condições que esse equipamento falha?
- II. Descrever o efeito potencial da falha:
Ocorre parada ou redução de produção?
A qualidade do produto é afetada?
Quais os prejuízos?
- III. Determinar a frequência, a gravidade e a defectibilidade:
Qual a frequência ocorrência da falha?
Qual o grau de gravidade da falha?
Qual a facilidade de detectar a falha?
- IV. Determinar o Número da Prioridade de Risco – NPR.
- V. Desenvolver plano de ação para eliminar ou corrigir o problema potencial.

Para determinar o peso das parcelas que compõem o NPR, existem algumas recomendações, normalmente baseadas em experiências de empresas ou definida pela própria equipe. A seguir os modelos utilizados para o desenvolvimento desse trabalho:

Figura 9, mostra a tabela dos Índices de severidade da falha ou seu impacto ao consumidor:

Figura 9 - Tabela - Índice de Severidade

Índice	Conceito
1	<ul style="list-style-type: none"> • Falhas de menor importância. • Quase não são percebidos os efeitos sobre o produto ou processo.
2 a 3	<ul style="list-style-type: none"> • Provoca redução de performance do produto e surgimento gradual de ineficiência. • Cliente perceberá a falha mas não ficará insatisfeito com ela.
4 a 6	<ul style="list-style-type: none"> • Produto sofrerá uma degradação progressiva: <ul style="list-style-type: none"> * ineficiência moderada; * produtividade reduzida; * início de frustração por parte do operador do processo ou cliente do produto. • Cliente perceberá a falha e ficará insatisfeito.
7 a 8	<ul style="list-style-type: none"> • Mais de 50% a 70% das vezes não se consegue manter a produção e se requer grande esforço do operador, há baixa eficiência e produtividade. Alta taxa refugo. <ul style="list-style-type: none"> • Em campo, o produto não desempenha sua função. • O cliente perceberá a falha e ficará muito insatisfeito com ela.
9 a 10	<ul style="list-style-type: none"> • Não se consegue produzir, "colapso" do processo. Problemas são catastróficos e podem ocasionar danos a bens ou pessoas. <ul style="list-style-type: none"> • Cliente ficará muito insatisfeito com ela.

Fonte: FERREIRA, 2019

Figura 10, mostra a tabela dos Índices de probabilidade de ocorrência:

Figura 10 - Tabela - Índice de Ocorrência

INDICE	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA	OCORRÊNCIA
1	Muito remota	Excepcional
2	Muito pequena	Muito poucas vezes
3	Pequena	Poucas vezes
4-5-6	Moderada	Ocasional, algumas vezes
7-8	Alta	Frequente
9-10	Muito alta	Inevitável, certamente ocorrerá a falha

Fonte: FERREIRA, 2019.

Figura 11, mostra a tabela dos Índices de detecção:

Figura 11 - Tabela - Índice de Detecção

Índice	Conceito
1	<ul style="list-style-type: none"> Muito alta probabilidade de detecção.
2 a 3	<ul style="list-style-type: none"> Alta probabilidade de detecção. Em processos, ações corretivas são tomadas em pelo menos 90% das vezes em que os seus parâmetros saem fora de controle.
4 a 6	<ul style="list-style-type: none"> Moderada probabilidade de detecção. Somente em 50% das vezes em que o processo sai de controle são tomadas ações corretivas.
7 a 8	<ul style="list-style-type: none"> Pequena probabilidade de detecção. Nível de controle muito baixo. Até 90% das peças produzidas podem estar fora de especificação.
9	<ul style="list-style-type: none"> Muito pequena probabilidade de detecção. Não há nenhum tipo de controle ou inspeção.
10	<ul style="list-style-type: none"> Muito remota probabilidade de detecção. A falha não pode ser detectada.

Fonte: FERREIRA, 2019

Após o cálculo do NPR, temos uma tabela que mede a avaliação e a pontuação do risco, conforme mostra a Figura 12 abaixo, sendo que $NPR = \text{Índice de Ocorrência} \times \text{Índice de Detecção} \times \text{Índice de Severidade}$

Figura 12 - Tabela - Avaliação do Índice de Risco (NPR)

AVALIAÇÃO	PONTUAÇÃO DO RISCO
BAIXO	1 - 50
MÉDIO	50 - 100
ALTO	100 - 200
MUITO ALTO	200 - 1.000

Fonte: FERREIRA, 2019

A figura 13, apresenta um modelo de uma Planilha de FMEA

Figura 13–Modelo de uma Planilha de FMEA

FMEA			Data da elaboração:			Cliente:			
	<input type="checkbox"/>	PROCESSO	Data da prox. Revisão:			Produto:			
	<input type="checkbox"/>	PRODUTO	Coordenador:			Processo:			
			Unidade/Setor:			Equipes:			
Item	Nome do componente	Função	FALHAS POSSIVEIS			INDICES			
			Modo	Efeito	Causa	Ocorre	Detecç	Grav	NPR

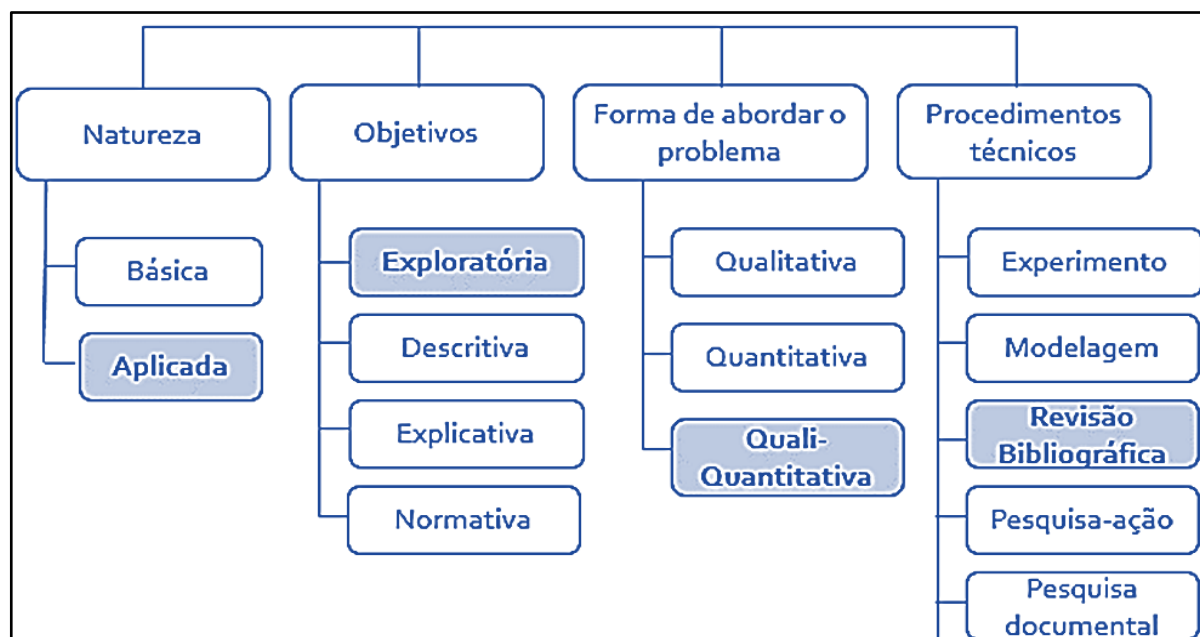
Fonte: o autor

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa trata de um estudo experimental para desenvolver e aplicar os passos para implementação de um modelo de Plano de Manutenção para incrementar a gestão da manutenção, aplicando a metodologia MCC, como forma de potencializar o planejamento e controle da manutenção de fornos a arco elétrico do processo de lingotamento contínuo de uma siderúrgica do interior do estado de São Paulo.

A metodologia da presente pesquisa foi baseada em revisão bibliográfica relacionada com as atividades desenvolvidas na gestão da manutenção industrial com a finalidade de propor melhorias no PCM através da implementação de modelos de gestão comprovadamente eficientes e eficazes para aumentar a confiabilidade dos ativos no setor industrial. A Figura 14 traz a estrutura metodológica que foi utilizada na pesquisa.

Figura 14 – Estrutura metodológica da pesquisa



Fonte–Baseado em Lakatos e Marconi (2021)

De acordo com Lozada e Nunes (2018), a pesquisa de natureza aplicada busca aumentar o conhecimento científico e tecnológico através da experimentação prática visando um maior entendimento ou novos direcionamentos sobre o assunto em questão, correspondendo a um plano de intervenção que envolve a técnica. Na pesquisa se implementou os passos para efetivação do modelo de gestão MCC visando aumentar a confiabilidade de um forno a arco elétrico do sistema de produção analisado.

Quanto ao objetivo exploratório vem da busca por uma maior confiabilidade dos ativos críticos da siderúrgica universo da pesquisa através do desenvolvimento dos passos necessários para se implementar o MCC. Segundo Lakatos e Marconi (2021), a pesquisa exploratória busca a formulação de questões ou de um problema, com tripla finalidade: (1) desenvolver hipóteses; (2) aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa; (3) modificar e clarificar conceito.

Já a pesquisa quantiquantitativa, conforme relata Lozada e Nunes (2018), realiza a abordagem ao problema de forma mista, analisando e tratando os dados tanto de forma quantitativa, como qualitativa, levando a um melhor entendimento sobre o assunto. O estudo de caso que foi realizado na pesquisa buscou expor o desenvolvimento e aplicação do MCC visando uma maior efetividade das ações gerenciais e técnicas da manutenção para elevar o nível de confiabilidade do forno a arco elétrico do sistema produtivo de uma grande siderúrgica do estado de São Paulo.

De acordo com Lakatos e Marconi (2021), a pesquisa bibliográfica é responsável pelo aprofundamento teórico conceitual do assunto abordado através de obras que já trataram do tema anteriormente. Na pesquisa ela foi realizada através da consulta a livros, dissertações e artigos científicos selecionados através de busca em base de dados acadêmicas em meio virtual. O período das obras pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos 14anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Gestão da Manutenção; Planejamento e Controle da Manutenção; Gestão de Ativos; MCC; Confiabilidade; Forno a Arco Elétrico.

O estudo de caso, conforme ressalta Lozada e Nunes (2018, p. 165), “é uma investigação empírica que analisa um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de mundo real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto puderem não ser claramente evidentes”.

O estudo de caso na pesquisa buscou criar um cenário hipotético através do levantamento de dados reais da manutenção de uma linha de produção de uma siderúrgica para a implementação do MCCcom foco na prospecção de melhorias no planejamento e controle da manutenção que levem a altos níveis de confiabilidade dos ativos críticos.

Desta maneira, relata-se que a análise foirealizada através de dados dos registros históricos da manutenção e processos realizados nos equipamentos e componentes do forno a arco elétrico para prospecção de um cenário realista para implementação do MCC. Deste modo, fica evidente a importância da documentação e o registro de todas as ações realizadas pelo PCM para pesquisa, assim como, de seus indicadores para que o desenvolvimento e aplicação dos passos seja efetiva.

Deste modo, relata-se que os principais valores operacionais da empresa levados em conta para a implementação de modelos de gestão são: eficiência na gestão financeira; modernização da cultura organizacional; otimização dos ativos com foco na rentabilidade; inovação digital e aumento de produtividade nas operações. Isto, na busca de objetivos como: otimização de processos; aumento de produtividade decorrente de agilidade e simplicidade no dia a dia; oferta de soluções diferenciadas no mercado; e criação de novas práticas no setor.

Para tanto, considera-se que os dados e informações obtidos por esse meio devem ser precisas e realistas para que as tomadas de decisão a cada ciclo de planejamento do MCC possam ser assertivas e promovam a melhoria contínua das operações técnicas e processos gerenciais da manutenção com foco em reduzir e/ou prevenir as falhas e incidentes que possam diminuir o nível de desempenho e disponibilidade dos fornos do sistema produtivo da organização.

Assim, os resultados esperados com a implementação do MCC são a diminuição dos desperdícios e perdas do sistema em consonância com o aumento da confiabilidade ao

evidenciar quais são as ações prioritárias que agregam mais valor aos processos técnicos e intervenções da manutenção nos fornos. Deste modo, pretende-se a confiabilidade necessária para que se possa operar com eficiência.

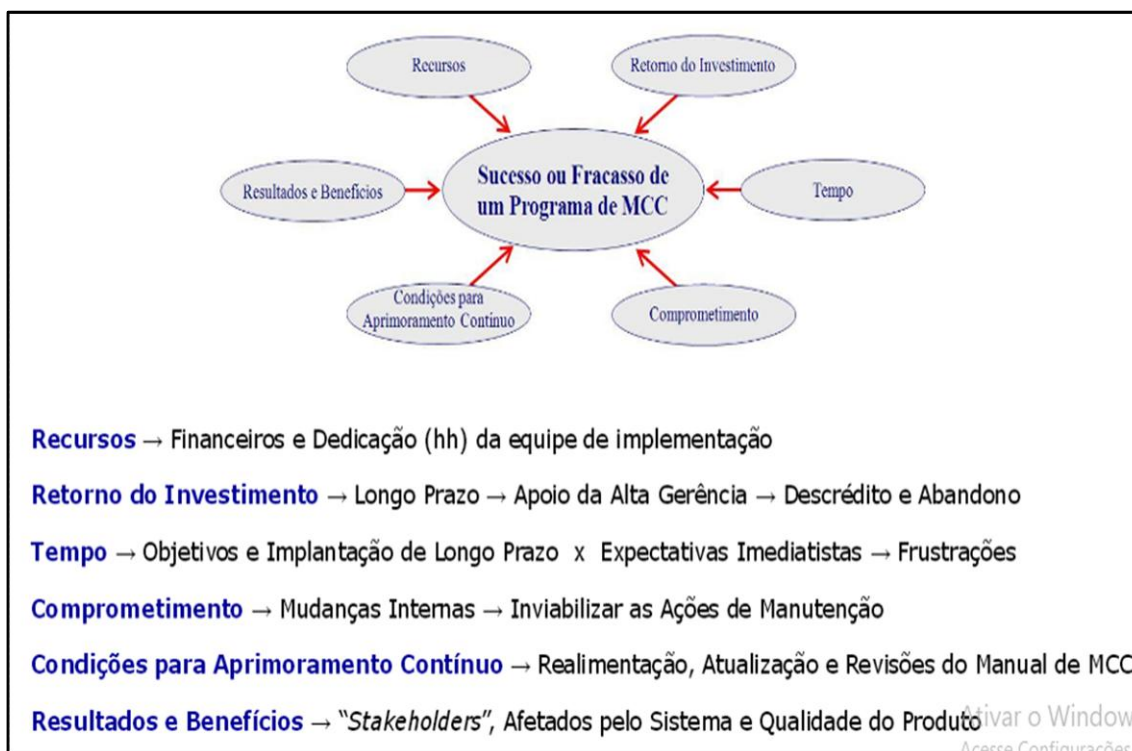
Portanto, pretende-se evidenciar no estudo de caso os passos necessários para implementação do MCC como principal modelo de gestão durante a elaboração dos planos de manutenção, mas também, na condução eficiente do projeto para a elevação da confiabilidade do sistema de manutenção como um todo. Desta forma, esperou-se que a pesquisa possa colaborar positivamente para a assertividade das ações técnicas e gerenciais dos modelos de gestão da manutenção na siderúrgica universo da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

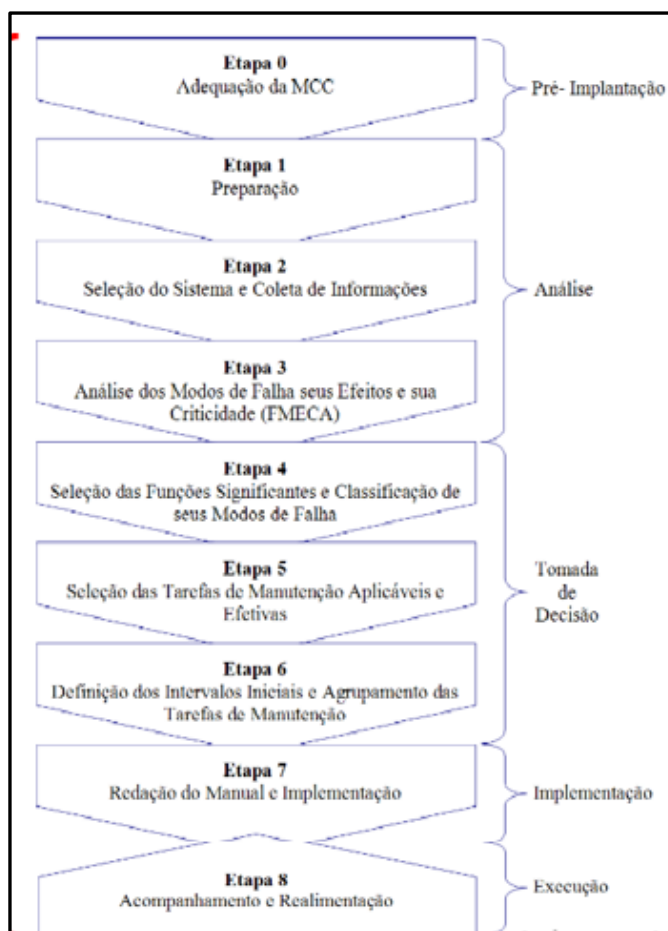
Nesta subseção será apresentada os passos para a implantação da MCC no forno elétrico a arco que realiza um importante processo para fundição de materiais ao longo da cadeia produtiva de uma siderúrgica do interior do estado de São Paulo. Ele realiza o processo primário para obtenção do aço líquido, da matéria-prima, refugos produtivos ou sucata, que depois será submetido a operações de refino e ajuste de composição química e da temperatura. A Figura 15, mostra os fatores relevantes do programa MCC, e a Figura 16, mostra o Procedimento de referência para a implantação.

Figura 15 – Fatores relevantes para o sucesso de um Programa de MCC



Fonte: autor

Figura 16 – Procedimento de referência para a implantação



Fonte -MOUBRAY (1997)

Passos para implementação através da metodologia MCC, são:

4.1.1 – Etapa Zero (Figura 17) – Adequação da MCC

Figura 17 – Etapa zero - Adequação ao MCC

	Critério	Quesito a ser Ponderado
Etapa 0 Adequação da MCC	→ Disponibilidade da Informação/Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ● Procedimento de Referência e/ou Normas ● Documentação da manutenção ● Documentação dos sistemas candidatos ● Planejamento estratégico da empresa
	→ Condição e Desempenho Atual da Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> ● Estratégia de manutenção ● Desempenho da manutenção ● Recursos humanos na operação ● Custos da manutenção
	→ Sistema Computacional de Suporte	<ul style="list-style-type: none"> ● Automação de escritório ● Gestão da informação ● Gestão da manutenção ● Afinidade/Treinamento com o sistema ● Integração com outros sistemas
	→ Cultura da Manutenção/Empresa	<ul style="list-style-type: none"> ● Registro das ações de manutenção ● Função estratégica da manutenção ● Motivação da equipe ● Experiência metodológica ● Atualização e auditoria
	→ Gerenciamento Estratégico da Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> ● Orçamento ● Conformidade organizacional ● Aporte de recursos ● Apoio metodológico ● Terceirização

Fonte: autor

4.1.2 – Etapa 1 - Figura 18- Planejamento

Figura 18 –Planejamento

- Preparar, organizar e estruturar a equipe de implantação da MCC
 - Designação do Patrocinador Interno e do Facilitador
- Definir a abrangência ou nível de aplicação do programa de MCC
 - Sistemas Candidatos: Sistema, Subsistemas, etc...
- Alocação de recursos humanos e financeiros (previsão orçamentária)
- Inferir sobre as necessidades relacionadas a treinamento, organização e estruturação
- Elaborar a metodologia e a estratégia para execução e condução das reuniões
 - Calendário de reuniões
 - Cronograma para execução das tarefas/etapas
- Documentar de forma auditável as premissas e conclusões desta etapa

Fonte: autor

4.1.3 – Etapa 2 –Figura 19- Critérios para a seleção do Sistema (equipamento)

Figura 19 – Critérios para a seleção do Sistema

- Seleção do Sistema**
- Significância para Segurança do Processo
 - Significância para Disponibilidade do Processo
 - Significância para a Economia do Processo
- } Métodos Quantitativos e/ou Qualitativos
- Documentar:**
- Métodos de seleção → Ex.: Pareto, OEE, TOC, Multicritérios, etc...
 - Critérios utilizados
 - Resultados obtidos

Fonte: autor

Para evidenciar essa etapa, foi selecionado um equipamento de uma empresa siderúrgica, o forno elétrico de arco voltaico.

Objetivo Geral – aplicar a ferramenta FMEA, para obter informações que serão utilizadas na metodologia na construção do Plano de Manutenção com base na MCC.

Considerando que o equipamento escolhido possui dezenas de componentes, foram adotados oito parte desse equipamento para serem estudadas, e estão relacionadas na Figura 20 - Relação de acessórios adotados do Forno Elétrico.

Figura 20 – Relação de acessórios adotados do Forno Elétrico

ACESSÓRIOS DO FORNO ELÉTRICO	
ITEM	EQUIPAMENTO
1	Chuveirinho
2	Painel Refrigerado
3	Caneta de Cojet
4	Bloco do Cojet
5	Válvula borboleta do silo de grafite
6	Roletes da coluna
7	Cilindro do basculamento do forno
8	Mancal da porta saída da escória

Fonte – Elaborado pelos autores (2023)

4.1.4 – Etapa 3 – Figura 21- FMEA/ FMECA – Tipos e objetivos

Figura 21 – FMEA/ FMECA – Tipos e objetivos

Tipos de FMECA:
<ul style="list-style-type: none"> • Projeto → Falhas durante a Fase de Projeto. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foco: Dimensionamentos, Especificações, etc... • Processo → Falhas do Processo Produtivo. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foco: Qualidade, Produtividade, etc... • Sistema → Falhas dos Sistemas e seus Componentes. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foco: Operação e Manutenção → Mão de Obra, Métodos, Materiais, etc... • Serviço → Desempenho do serviço, antes que sua falha atinja o cliente. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foco: Recursos Humanos, Satisfação do Cliente, etc...

Fonte: Autor

4.1.5 – Etapa 4 – Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus modos de Falha e a apresentação de sugestões baseadas no resultado do NPR obtido.

Nessa etapa, a Planilha de FMEA, deverá ser preenchida com as informações obtidas nos históricos de manutenção, e do conhecimento e experiências da equipe montada para participar das discussões sobre a função e os modos de falhas dos itens do equipamento e, convocadas para participar da implantação. Também deverão ser preenchidas as colunas de Ocorrências, Detecção e Gravidade, para se obter o NPR. A Planilha de FMEA, apresentada na Figura 22.

Figura 22 - Planilha de FMEA

PLANILHA DE FMEA - ACESSÓRIOS DO FORNO ELÉTRICO									
ITEM	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	FALHA			OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	GRAVIDADE	NPR
			MODOS	EFEITO	CAUSA				
1	Chuverinho	Refrigerar eletrodo do forno	entupir tubo	Falta refrigeração	tubo amassado	4	2	9	72
			quebra da conexão		manuseio do eletrodo	3	1	9	27
2	Painel Refrigerado	Refrigerar parede do forno	Não refrigerar	Furo na parede do forno	Aterramento ineficiente	2	3	9	54
3	Caneta de Cojet	injetar oxigênio	entupimento do bico	não elimina pontos frios da carga	aderência de escória	4	3	8	96
4	Bloco do Cojet	suporte para alinhar caneta 45°	desalinhamento da caneta	oxigênio injetado fora do alvo	quebra da fixação	4	1	8	32
5	Válvula borboleta do silo de grafite	controle da ligação forno e silo	Passagem sem controle	Corrosão da vedação e do disco	grafite acelera a corrosão da vedação e	4	4	8	128
6	Roletes da coluna	guiar as colunas dos eletrodos	travamento dos roletes	roletes sem lubrificação	queima da graxa	2	1	9	18
7	Cilindro do basculamento do forno	bascular o forno na descarga	tranco na operação do cilindro	vedação dos cilindros rompem	vazamento de óleo nos cilindros hidráulicos	5	6	9	270
8	Mancal da porta saída da escória	suporta o movimento da porta	quebra e travamento	porta deixa de funcionar	sucata cai sobre o mancal e porta	3	5	9	135

Fonte – Elaborado pelos autores (2023)

Após a análise da Planilha e a obtenção do NPR, pode-se em função do valor obtido nesse índice, apresentar sugestões de correção imediata dos problemas, melhorias e até de modificações no equipamento para facilitar manutenção e até mesmo uma ousada troca dele. Nessa análise, os itens 7 e 8, apresentaram os maiores índices de NPR, portando foi apresentada uma sugestão, para elucidar a etapa.

Item 7 - Cilindro do basculamento do forno, responsável pelo basculamento na descarga da escória e do aço produzido, quando apresenta vazamento de óleo devido desgaste dos anéis de vedação, opera de forma irregular e danifica outros itens que opera em conjunto.

Sugestão: Manter cilindros reserva, para serem trocados em manutenções preventivas, encurtando o tempo de indisponibilidade do Forno.

Item 8 - Mancal da porta para saída da escória, item que suporta o movimento da mesma e devido sucata que está sendo manuseada para a carga do Forno, caírem sobre a porta e o mancal, danificam o mancal.

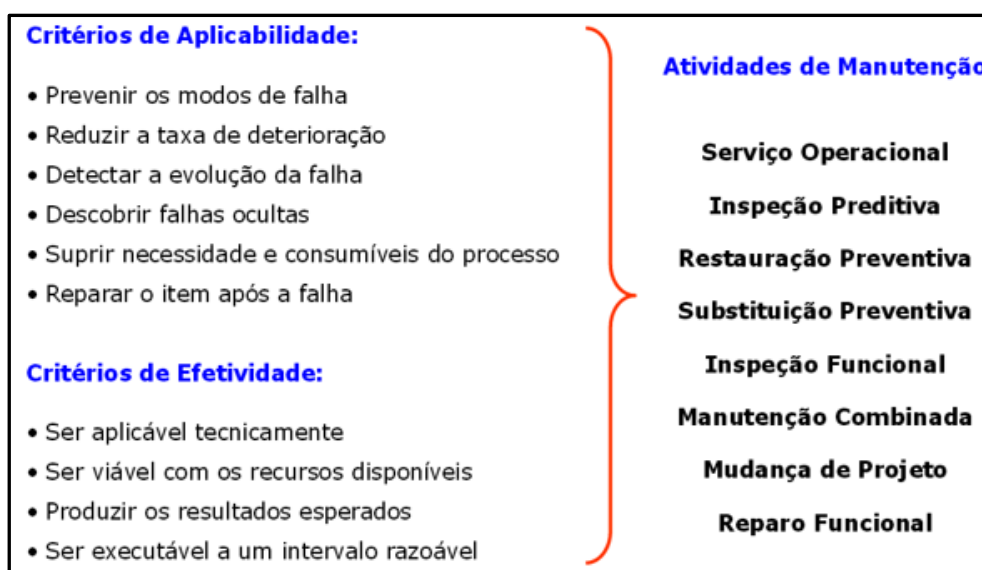
Sugestão: Criar um anteparo para evitar que a escória caia sobre os itens.

4.1.6 – Etapas 5/6/7 – Figura 23-Plano de Manutenção; Definição dos intervalos(períodos) iniciais; Redação do Manual

A elaboração do Plano de Manutenção, para facilitar, deverá ser criado na mesma planilha usada para a FMEA, substituindo os itens para obtenção do NPR, por tipo de manutenção, a Tarefa e o Período de aplicação da Tarefa. Essa planilha deverá ser apresentada para os mantenedores, para que saibam de antemão a causa que está sendo tratada e eliminada e que é a principal responsável pela falha do componente.

Nessa etapa, deverão ser definido o tipo de manutenção a ser aplicada e a Seleção das tarefas de Manutenção aplicáveis e efetivas.

Figura 23 - Seleção das tarefas de Manutenção aplicáveis e efetivas



Fonte: Autor

Ao montar o Plano de Manutenção, deverão ser ouvidos principalmente o pessoal que é responsável em executar as manutenções do equipamento e seus auxiliares para que os detalhes sejam esclarecidos e incorporados no manual.

Algumas empresas, possuem os manuais de manutenção dentro de um padrão que a empresa adota. Nesses casos, é interessante sugerir uma modificação para incorporar a causa que levou a adotar aquela tarefa e o período. A Figura 24, mostra uma Planilha de Manutenção de parte dos componentes do Forno, com tipo de manutenção, tarefa e período da intervenção.

Figura 24 - Planilha do Plano de Manutenção

PLANO DE MANUTENÇÃO - ACESSÓRIOS DO FORNO ELÉTRICO									
FALHA									
ITEM	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	MODO	EFEITO	CAUSA	TIPO DE MANUTENÇÃO	TAREFA	PERÍODO	VISTO DO RESPONSÁVEL
1	Chuverinho	Refrigerar eletrodo do forno	entupir tubo	Falta refrigeração	tubo amassado	preventiva	verificar e trocar se amassado	após cada corrida	
			quebra da conexão		manuseio do eletrodo	preventiva	verificar e trocar se amassado	antes de cada corrida	
2	Painel Refrigerado	Refrigerar parede do forno	Não refrigerar	Furo na parede do forno	Aterramento ineficiente	preventiva	verificar e reconectar o	mensal	
3	Caneta de Cojet	injetar oxigênio	entupimento do bico	não elimina pontos frios da carga	aderência de escória	preventiva	verificar e dentupir	antes de cada corrida	
4	Bloco do Cojet	suporte para alinhar caneta 45°	desalinhamento da caneta	oxigênio injetado fora do alvo	quebra da fixação	preventiva	verificar e realinhar	antes de cada corrida	
5	Válvula borboleta do silo de grafite	controle da ligação forno e silo	Passagem sem controle	Corrosão da vedação e do disco	grante acelera a corrosão da vedação e disco	preventiva	trocar vedação e disco	mensal	
6	Roletes da coluna	guiar as colunas dos eletrodos	travamento dos roletes	roletes sem lubrificação	queima da graxa	preventiva	trocar graxa	mensal	
7	Cilindro do basculamento do forno	bascular o forno na descarga	tranco na operação do cilindro	vedação dos cilindros rompem	vazamento de óleo nos cilindros hidráulicos	preventiva	trocar vedação dos cilindros	a cada dois meses	
8	Mancal da porta saída da escória	suporta o movimento da porta	quebra e travamento	porta deixa de funcionar	sucata cai sobre o mancal e porta	preventiva	verificar e reparar	mensal	

Fonte – Elaborado pelos autores (2023)

4.1.7 – Etapa 8 – Acompanhamento e Realimentação

O Plano de manutenção deverá sofrer um acompanhamento para verificar se as tarefas estão sendo aplicadas e se o resultado está atendendo as mitigações e soluções esperadas para eliminar as causas das falhas e deverá sofrer alteração sempre que ocorrer alguma situação que necessita de correção e ou novas sugestões forem sendo apresentadas.

4.2 DISCUSSÃO

A elaboração das Planilhas para a análise da FMEA e construção do Plano de Manutenção, mostram a metodologia sendo aplicada em um exemplo prático e a explicação não muito profunda das etapas, mostram a facilidade para concluir uma análise desse tipo. Existem dificuldades, principalmente em obter informações mais precisas dos dados a serem incluídos nas planilhas, que poderão ser facilitadas se as gerencias das empresas desejarem realmente adotar essa metodologia. Algumas empresas já estão através de alunos oriundos do curso de manutenção da FATEC, adotando essa metodologia, porém nossos egressos não se manifestam, segundo professores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, os resultados esperados com a implementação do MCC são a diminuição dos desperdícios e perdas do sistema em consonância com o aumento da confiabilidade ao evidenciar as ações prioritárias que agregam maior valor aos processos técnicos e intervenções da manutenção nos fornos. Deste modo, pretende-se aumentar a confiabilidade necessária para que se possa operar com eficiência.

Para futuras pesquisas, deverão ser elaborados estudos com maior amplitude de informações, como: apresentar os históricos reais das intervenções da manutenção, porque o que se percebe é que as indústrias, no geral, não possuem dados reais disponíveis das intervenções da manutenção, destacando que não é uma política comum.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Manutenção mecânica industrial: princípios técnicos e operações**. Série Eixos. São Paulo: Érica, 2015.
- BELO, E. O. **Análise de falhas dos equipamentos de um alto forno**. 2019. 71 p. Monografia (Especialista em Engenharia da Confiabilidade) Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019. Disponível em:
http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14346/1/CT_CEECVIT_II_2019_07.pdf. Acesso em: 20 de abr. de 2023.
- BORLIDO, D. J. A. **Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 2017. 65 p. Dissertação (Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Portugal, 2017. Disponível em:
<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/102740/2/181981.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- BUENO, E. R. F. **Gestão da Manutenção de Máquinas**. Curitiba: Contentus, 2020.
- CARDOSO, T. N. R. **Metodologias de Gestão de Ativos na perspectiva do prestador de serviços da manutenção**. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção. Instituto Politécnico de Setúbal. Portugal, 2017. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/19760>. Acesso em: 26 fev. 2023.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2016.
- CASTRO, W. B. KIMINAMI, C. S. OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013.
- CORDEIRO, M. C. *et al.* Gestão de ativos: proposta de otimização de investimento no processo de manutenção. *In: South American Development Society Journal*. Vol. 07. Nº. 20. Ano 2021. pag. 278-308. Disponível em:
<http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/440/386>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- COTTA, L. S. RODRIGUES, C. G. Avaliação de revestimento refratário no processo siderúrgico. **E-xacta**, v. 7 n. 1, p.185-203. Belo Horizonte: Editora UniBH, 2014. Disponível em:
<http://revistas.unibh.br/dcet/article/download/1178/683>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- DINIZ, P. H. A. **Análise do consumo energético de forno elétrico a arco voltaico utilizado em indústria metalúrgica nacional**. 2018. 76 p. Monografia (Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Campus Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/203703/000919492.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22 maio 2023.
- DUARTE, J. L. R. FOGLIATO, F. S. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- DUPONT, Centro para segurança de produtos químicos. **Diretrizes para elaborar procedimentos eficazes de operação para manutenção**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Interciências, 2021.

FERREIRA, L. SILVA, E. B. **Gerenciamento e controle de qualidade**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2016.

GASPARINI, V. N. **Desenvolvimento de um modelo de controle de processo para altos-fornos acoque aplicado a altos-fornos industriais**. 2016. 137 p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica), Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AK3NXY/1/tese___vitor_gasparini.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

GREGÓRIO, G. F. P. PRATA, A. B. SANTOS, D. F. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GREGÓRIO, G. F. P. SILVEIRA, A. M. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

GRESSLER, F. *et al.* Diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão orientado para a manutenção 4.0. *In: Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 14951-14978, 2020. p. 14951-14978. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8041>. Acesso em: 21 abr. 2023.

LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2020.

LOZADA, G. NUNES, K. S. **Metodologia científica**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

LAKATOS, E. M. MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9ª edição. São Paulo: Atlas, 2022.

LUCATO, A. V. R. OLÍVIO, A. SOEIRO, M. V. A. **Gestão da Manutenção**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2017.

MARTINS, J. C. **O papel da engenharia na gestão de ativos de uma unidade industrial**. 2015. 187 p. Monografia (Mestrado em Engenharia de Manutenção). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal. 2015. Departamento de Engenharia Mecânica. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/5402/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

PEZZATTO, A. T. *et al.* **Sistemas de Controle de Qualidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

PULZ, E. M. **A evolução da Gestão da Manutenção nas indústrias**. 2020. 16 p. Art. Científico (Engenharia Mecânica). Centro Universitário Hermínio Ometto, Araras-SP, 2020. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61989699/artigo_em_desenvolvimento__edenilson_fin_al2020. Acesso em: 21 ago. 2023.

RIBEIRO, T. G. Estudo comparativo da função PID aplicada em controle de corrente em fornos a arco elétrico. *In: Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, volume 2, n°. 2, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3297/000385443.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>. Acesso em: 22 maio 2023.

SOARES, A. M. **Planejamento e Controle da Manutenção como alavanca de resultados: implantação em uma indústria de carcinicultura**. 2019. 138 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2019. Disponível em:

[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26978/1/Planejamentocontrolemanuten%c3%a7%c3%a3o Soares 2019.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26978/1/Planejamentocontrolemanuten%c3%a7%c3%a3o%20Soares%202019.pdf). Acesso em: 24 fev. 2023.

SANTOS, G. A. **Tecnologia dos materiais metálicos**: propriedades, estruturas e processos de obtenção. São Paulo: Érica, 2015.

SELEME, R. **Manutenção Industrial**: mantendo a fábrica em funcionamento. Curitiba: Intersaberes, 2015.

SHIGUNOV NETO, A. SCARPIM, J. A. **Terceirização em serviços de manutenção industrial**. Rio de Janeiro: InterCiências, 2014.

TÂMEGA, F. **Fundição de processos siderúrgicos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2017.