

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JOINVILLE**

**ALYSSON FERNANDO GARDA
JENERSON EVERALDO VARELA SANTOS**

**O IMPACTO DA AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA SOBRE A
DISPONIBILIDADE
ELETROMECÂNICA DE UMA MÁQUINA DE MOLDAR – ESTUDO DE CASO**

**JOINVILLE
Junho, 2025**

ALYSSON FERNANDO GARDA
JENERSON EVERALDO VARELA SANTOS

O IMPACTO DA AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA SOBRE A
DISPONIBILIDADE
ELETROMECAÂNICA DE UMA MÁQUINA DE MOLDAR – ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Economia Industrial

Orientador: Prof. Dr. RUBENS HESSE

Joinville

2025

Garda, Alysson Fernando

O impacto da ausência de manutenção preventiva sobre a disponibilidade eletromecânica de uma máquina de moldar – estudo de caso / Alysson Fernando Garda, Jenerson Everaldo Varela Santos. – Joinville, SC, 2025.

60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Joinville, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Hesse

1. Metalurgia. 2. Manutenção. 3. Disponibilidade. I. Santos, Jenerson Everaldo Varela. II. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

ALYSSON FERNANDO GARDA
JENERSON EVERALDO VARELA SANTOS

O IMPACTO DA AUSÊNCIA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA SOBRE A
DISPONIBILIDADE
ELETROMECAÂNICA DE UMA MÁQUINA DE MOLDAR – ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Economia Industrial

Orientador: Prof. Dr. RUBENS HESSE

Joinville, 07 de julho de 2025.

Prof. Rubens Hesse, Dr.

Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Leonidas Cayo Mamani Gilapa, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Julio Fabio Scherer, Dr

Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força e sabedoria ao longo desta jornada. À minha família, pelo apoio incondicional, e aos amigos, pela companhia e incentivo nos momentos difíceis. Sou grato também ao IFSC – Campus Joinville, por proporcionar uma formação de qualidade e um ambiente de aprendizado que contribuíram significativamente para a realização deste trabalho. A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com este projeto, o meu sincero obrigado.

Alysson Fernando Garda

Agradeço a Deus pelo dom da vida, a minha amada esposa Débora Branco, e a meu filho que está vindo ao mundo, que foram as fontes de inspiração e estiveram comigo em todos os momentos apoiando e incentivando. Aos meus pais, Alfeu Varela Santos e Roseleide de Jesus Santos que nunca mediram esforços para minha educação e formação. Aos meus irmãos Marcos, Eleson e Lulia por me motivarem nesta caminhada. A todos os servidores da instituição, principalmente aos professores que me alimentaram de inspiração para tornar meu sonho uma realidade.

Jenerson Everaldo Varela Santos

RESUMO

A competitividade industrial moderna exige que as empresas busquem continuamente a eficiência e a otimização de seus processos produtivos. Nesse cenário, a disponibilidade eletromecânica dos equipamentos é um fator crítico para o sucesso das operações, especialmente em setores que dependem de máquinas de alta precisão e complexidade, como as máquinas de moldar. A interrupção inesperada de um equipamento pode gerar perdas significativas, desde a redução da produtividade e o descumprimento de prazos até o aumento exponencial dos custos de manutenção e a diminuição da qualidade do produto final.

Historicamente, muitas indústrias operam sob uma filosofia de manutenção corretiva, onde a intervenção só ocorre após a falha do equipamento. Embora essa abordagem possa parecer mais simples à primeira vista, os custos ocultos e as consequências negativas em termos de disponibilidade e eficiência são, na maioria das vezes, muito superiores aos benefícios de uma manutenção planejada. A ausência de manutenção preventiva emerge como um problema central nesse contexto, pois a negligência em ações proativas, como inspeções regulares, lubrificação e substituição programada de componentes, invariavelmente leva a falhas inesperadas e à consequente inatividade da máquina.

Quantificar o impacto da ausência de manutenção preventiva sobre a disponibilidade eletromecânica de uma máquina de moldar, por meio de um estudo de caso aprofundado. A máquina de moldar, por sua complexidade e papel crucial na cadeia produtiva, serve como um excelente objeto de estudo para demonstrar as consequências diretas e indiretas da falta de planejamento na gestão de ativos. Ao longo deste estudo, buscaremos evidenciar como a negligência em práticas preventivas pode comprometer não apenas a operação individual de um equipamento, mas a eficiência global de um sistema de produção, reforçando a importância estratégica da manutenção preventiva para a sustentabilidade e a lucratividade das operações industriais.

Após a análise de dados produtivos de um período de 12 meses, foi observado que quanto mais horas de manutenção um equipamento possui, maior será a disponibilidade dos ativos para a operação.

Palavras-chave: Metalurgia; manutenção; disponibilidade.

ABSTRACT

The modern industrial landscape demands continuous pursuit of efficiency and optimization in production processes. In this context, the electromechanical availability of equipment is crucial for operational success, particularly in sectors relying on high-precision, complex machinery like molding machines. Unexpected equipment downtime can lead to significant losses, including reduced productivity, missed deadlines, escalating maintenance costs, and diminished product quality. Historically, many industries have adopted a corrective maintenance philosophy, intervening only after equipment failure. While seemingly simpler, this approach often incurs hidden costs and negative consequences for availability and efficiency that far outweigh any perceived benefits of planned maintenance. The absence of preventive maintenance thus emerges as a central problem, as neglecting proactive measures such as regular inspections, lubrication, and scheduled component replacement invariably results in unexpected failures and machine inactivity. This study aims to quantify the impact of absent preventive maintenance on the electromechanical availability of a molding machine through an in-depth case study. The molding machine, due to its complexity and vital role in the production chain, serves as an excellent subject to illustrate the direct and indirect consequences of poor asset management planning. We seek to demonstrate how neglecting preventive practices can compromise not only individual equipment operation but also the overall efficiency of a production system, thereby reinforcing the strategic importance of preventive maintenance for the sustainability and profitability of industrial operations. A 12-month analysis of production data revealed a direct correlation: increased maintenance hours per equipment unit lead to higher asset availability for operation.

Keywords: Metallurgy; maintenance; availability.

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 - Relação custo x tempo – manutenção corretiva e manutenção preventiva	18
Figura 2 – Porcentagem de alocação de homem hora nos serviços de manutenção	20
Figura 3 - Curva PF	22
Figura 4 -Curva PF versus custo para reparo	23
Figura 5 - Representação das dimensões do OEE	24
Figura 6 - Disponibilidade geral de máquinas e equipamentos – Evolução no tempo	27
Figura 7 - Classificação dos principais processos de fundição	28
Figura 8 - Fluxograma da produção de peças fundida	30
Figura 9 - Placa modelo	31
Figura 10 - Exemplo de máquina de moldar automática	32
Figura 11 - Exemplo de vazamento automático de panela vazadora	34
Figura 12 - Cronograma de operação de uma semana normal da linha de moldar	38
Figura 13 - Códigos das paradas da linha de moldar	40
Figura 14 - Extração dos dados de paradas de linha	41
Figura 15 - Exemplo de uma solicitação de serviço	43
Figura 16 - Parte dos planos preventivos do ativo estudado	44
Figura 17 - Exemplo de relatório de aderência de atividades programadas	45
Figura 18 - Exemplo de espectro de vibração de um equipamento rotativo	46
Figura 19 - Exemplo de laudo de análise de óleo	46
Figura 20 - Exemplo de laudo termográfico	47
Figura 21 - Exemplo de análise de falha	49
Figura 22 - Dados analisados no período de um ano	50
Figura 23 - Gráfico de dados das paradas	50

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
BI	Business Intelligence
ERP	Enterprise Resource Planning
FMEA	Análise de modos de falhas e seus efeitos
ISO	International Organization for Standardization
MTBF	Mean time between failures
MTTR	Mean time to repair
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PF	Potencial de falha
PIB	Produto Interno Bruto
RCA	Root Cause Analysis
RCM	Reliability Centered Maintenance
SC	Santa Catarina
TPM	Total Productive Maintenance

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ Somatório de número

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVO GERAL	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	16
2.1.1 Manutenção corretiva	17
2.1.2 Manutenção preventiva	18
2.1.3 Manutenção preditiva	20
2.2 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	23
2.2.1 OEE	24
2.2.2 MTBF (Mean Time Between Failures)	25
2.2.3 MTTR (Mean Time To Repair)	26
2.2.4 Disponibilidade eletromecânica	26
2.3 PROCESSO DE FUNDIÇÃO	27
2.3.1 Principais processos de fundição	28
2.3.1.1 Moldagem em areia verde	29
2.3.1.1.1 Fabricação dos modelos	30
2.3.1.1.2 Fabricação dos moldes	31
2.3.1.1.3 Fusão	33
2.3.1.1.4 Desmoldagem	34
2.3.1.1.5 Acabamento	36
3 METODOLOGIA	37
3.1 APLICAÇÃO E ANÁLISE DO INDICADOR DE DISPONIBILIDADE ELETROMECÂNICA	38
3.1.1 Linha de moldagem	38
3.1.2 Apontamento de paradas	39
3.1.3 Equipe de manutenção	41
3.1.4 Engenharia de manutenção	42
3.1.5 Planejamento de manutenção	42
3.1.6 Inspeções preditivas	45
3.1.7 Análise de causa e efeito	48
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXO A - ANÁLISE DE FALHAS	59

1 INTRODUÇÃO

As empresas do ramo metalúrgico exercem um papel muito importante na economia norte catarinense. Nesta região, grandes empresas deste ramo atuam, sendo algumas delas: Tupy, Schulz, Fras-le e Weg. Todas as empresas citadas possuem faturamento anual superior a R\$1 bilhão, e com um faturamento nessa ordem, acabam impactando não só na sua cadeia de fornecedores como também em seus funcionários e respectivos familiares. Dados do sistema S, mostram que o ramo metalúrgico foi responsável por 4% do PIB de Santa Catarina no ano de 2022.

Para que estas empresas continuem operando de maneira saudável, entregando valor aos seus acionistas e impactando positivamente na sociedade que está inserida, a eficiência operacional é indispensável. A maneira na qual podemos mensurar a eficiência operacional é através do OEE, do inglês *Overall Equipment Effectiveness*. O conceito de OEE foi desenvolvido por Seiichi Nakajima no ano de 1960, e um dos valores que compõe o cálculo deste indicador é a disponibilidade eletromecânica da linha produtiva. Ou seja, a disponibilidade eletromecânica que um time de manutenção entrega para uma fábrica, está totalmente conectado com a eficiência de uma planta industrial.

A disponibilidade eletromecânica é um indicador que tem como objetivo mostrar em valores percentuais quanto tempo um ativo ficou disponível para a operação, em relação às horas programadas pelo departamento de planejamento de produção. Este estudo de caso busca relacionar de maneira proporcional, a disponibilidade eletromecânica de uma linha de moldar, com as horas disponíveis para se executar manutenções programadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

A indústria de fundição é responsável pela fabricação de peças moldadas em ferro, aço e ligas metálicas não ferrosas. Em 2024, esse setor empregava aproximadamente 60 mil trabalhadores. Grande parte das empresas deste ramo é de pequeno e médio porte, sendo que os investimentos do segmento, em sua grande parte, são nacionais (GUIA ABIFA, 2024).

Ainda segundo a Abifa, essa atividade econômica demanda muita mão de obra, em função de não ser um processo muito automatizado dentro das pequenas empresas, representando até 35% dos seus custos totais. As matérias-primas utilizadas no processo produtivo são inteiramente nacionais, o que garante ao setor autonomia em relação ao mercado internacional.

A produção brasileira de itens fundidos foi impactada nos últimos anos devido a sequência de fatores macro e microeconômicos. Seu ápice foi no ano de 2008, onde 3.355 mil toneladas foram produzidas. Desde então vários eventos impactam neste valor, sendo eles a queda acentuada e rápida nos preços das ações (*crash*) da bolsa de valores americana em 2009, a fragilização por motivos internos da economia brasileira em 2011, o agravamento desta crise em 2016 e a pandemia em 2020. O recorde de produção no pós-pandemia foi atingido em 2022, com 2.978 mil toneladas produzidas (GUIA ABIFA, 2024).

Uma fatia considerável dos produtos fundidos no Brasil (39,2%), é destinada à indústria automotiva, injetando componentes nas principais montadoras de ônibus, caminhões e carros. Outro nicho que é grande usuário deste tipo de produto, é o agrícola, com inúmeras montadoras que utilizam peças fundidas em tratores, plantadeiras e colheitadeiras (GUIA ABIFA, 2024).

Dada a importância das fundições no Brasil, seu impacto econômico e sua contribuição na indústria nacional, é razoável que estudos do aumento de performance sejam efetuados, de maneira a garantir o atendimento das principais montadoras do país, que atendem tanto o mercado interno quanto o externo.

Este estudo de caso trará não somente informações teóricas, mas sim práticas com dados colhidos ao longo de 1 ano em uma fundição pioneira, com altos índices de eficiência. Em uma máquina de moldar específica permitirá uma análise aprofundada e contextualizada dos impactos reais da falta de manutenção

preventiva. Ao focar em um equipamento essencial para o processo produtivo, será possível quantificar os prejuízos e demonstrar a importância da implementação de rotinas de manutenção eficazes.

Os resultados desta pesquisa terão aplicabilidade direta no setor industrial, fornecendo dados e insights que podem auxiliar gestores e equipes de manutenção na tomada de decisões estratégicas. O estudo contribuirá para reforçar a conscientização sobre o valor da manutenção preventiva não apenas como um custo, mas como um investimento que garante a eficiência operacional, a sustentabilidade dos negócios e a competitividade no mercado.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

É comum e consensual a informação de que quanto mais horas uma determinada máquina opera, maior será o volume de itens produzidos por ela. Essa análise é intuitiva, baseada no senso comum. No entanto, uma máquina que opera com baixa eficiência e com baixa qualidade, acaba não produzindo o número de itens possíveis, quando comparado aos dados de capacidade estabelecidos pelo fabricante.

Em momentos de alta demanda do mercado, é comum que empresas busquem operar suas fábricas 24 horas por dia, 7 dias por semana, buscando atender esse pico de pedidos. Dessa maneira, gestores industriais acabam preterindo as manutenções preventivas e corretivas programadas. No ramo de fundição, essa prática é altamente prejudicial para a planta, em função das atividades rotineiras que têm de ser executadas.

Com isso, a presente pesquisa visará responder aos seguintes questionamentos:

- a) Qual impacto na tonelagem produzida de uma máquina de moldar que não cessa sua operação aos finais de semana?
- b) Qual o impacto da disponibilidade eletromecânica de uma máquina de moldar que não cessa sua operação aos finais de semana?
- c) Qual a melhor decisão que o gestor deve tomar, visando a eficiência operacional ao decidir quantas horas no mês a máquina deverá operar?

1.3 OBJETIVO GERAL

Analisar o impacto da não execução de manutenções preventivas e corretivas programadas, em uma linha de uma máquina de moldar de uma fundição de areia verde.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Revisitar a literatura para pleno entendimento dos conceitos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, bem como a compreensão das melhores práticas dos tipos de manutenção a se adotar, visando o atingimento de indicadores de nível mundial no que tange a disponibilidade eletromecânica dos ativos.
- b) Efetuar o estudo de dados de 2 anos de uma linha de moldar de uma fundição de areia verde.
- c) Compilar todos os dados obtidos, analisar e concluir o estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura tem como objetivo apresentar uma síntese dos conceitos de manutenção industrial e seus principais indicadores, assim como um apanhado geral sobre linhas de moldar em indústrias de fundição para o entendimento das conexões que os temas possuem quando se deseja obter a melhora no resultado da disponibilidade eletromecânica deste tipo de ativo.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial, uma prática essencial para a operação eficiente de fábricas e instalações, possui uma trajetória rica e diversa que se desenvolveu ao longo dos séculos. Desde o início da revolução industrial no século 18, quando a mecanização começou a transformar a produção, a manutenção tem sido um fator crítico para garantir a sustentação operacional. Nos primeiros tempos, as técnicas de manutenção eram básicas e na maioria das vezes reativas, o que significava que as falhas eram corrigidas apenas após ocorrerem. Entretanto, com o avanço da tecnologia e o aumento da complexidade dos sistemas, surgiram novas abordagens. De acordo com Nakajima (1988), a manutenção produtiva total (TPM) emergiu como uma filosofia que visa a maximização da eficiência dos equipamentos, ao mesmo tempo que envolve todos os colaboradores na manutenção do espaço de trabalho.

De acordo com a norma NBR 5462 (ABNT, 1994), a manutenção é composta pela combinação das ações administrativas e técnicas com o intuito de recolocar ou inserir um item em um estado no qual consiga desempenhar a função desejada, ou seja, realizar as atividades necessárias para que o equipamento continue com as condições operacionais conforme as especificações para que se atinja o desempenho exigido.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção tem o dever de garantir a disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações de maneira a atender ao processo de produção juntamente com a confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e preservando a natureza.

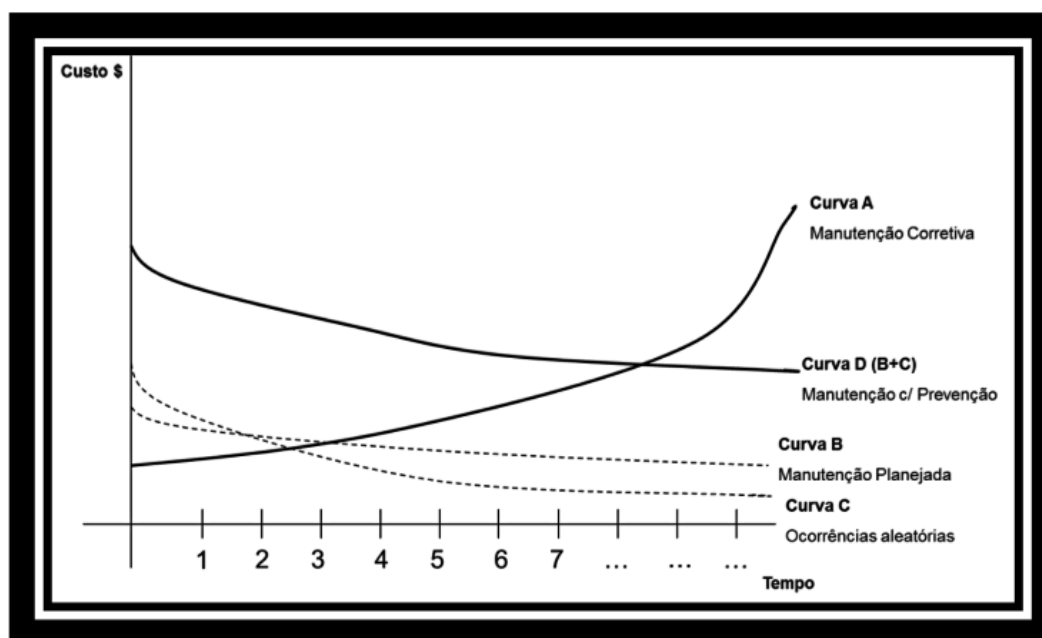
2.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é estabelecida como toda ação que visa restabelecer o funcionamento de determinado ativo, assim como corrigir falhas ou retomar o desempenho que está abaixo do esperado.

2.1.1.1 Manutenção corretiva não planejada

A manutenção corretiva não planejada, também escrita nas literaturas como manutenção emergencial ou manutenção reativa, é toda aquela que ocorre após a falha ou perda de desempenho de um equipamento, sem que haja uma preparação pelo time de manutenção com relação a materiais e mão de obra apta para execução do serviço. Segundo Junior Elias (2019) esse tipo de manutenção conforme figura 01 apresenta o maior custo em comparação aos demais tipos de manutenção dentre eles: multas contratuais decorrente de atraso na entrega de produtos, custo com refugos e lotes perdidos de produto com baixa qualidade, danos ao próprio equipamento ou componentes que trabalham em conjunto, impactos ambientais, falha de segurança consequentemente maior risco de acidentes, perdas de clientes devido a não entrega do produto no prazo determinado.

Figura 1 - Relação custo x tempo – manutenção corretiva e manutenção preventiva



Fonte: Branco Filho (2006)

2.1.1.2 Manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva planejada, trata da realização de reparos realizados em um equipamento após a detecção de uma falha, mas de forma planejada e não emergencial, ou seja, o equipamento não deixou de operar devido à falha que se deu.

2.1.2 Manutenção preventiva

Segundo Kardec (2009), a manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda de desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. Ela é fundamental para a saúde de diversos setores da indústria, exercendo um papel crucial na otimização de operações, redução de custos e aumento da confiabilidade dos equipamentos.

Um dos principais benefícios da manutenção preventiva é a redução do tempo de indisponibilidade do ativo. Ao realizar inspeções e manutenções rotineiras, as empresas podem identificar e corrigir pequenos problemas antes que se tornem falhas maiores, economizando recursos financeiros e humanos. Segundo a norma

ISO 55001, a gestão eficaz de ativos inclui a implementação de práticas de manutenção preventiva como um componente essencial para maximizar a vida útil dos ativos e melhorar a eficiência operacional (ISO, 2014).

De acordo com Seleme (2015), a manutenção preventiva tem como objetivos principais:

- Aumentar a vida produtiva dos bens de capital;
- Reduzir a quebra de equipamentos críticos;
- Permitir um melhor planejamento e agendamento dos trabalhos de manutenção;
- Minimizar as perdas de produção em razão de equipamentos defeituosos;
- Promover a saúde e a segurança do pessoal de manutenção.

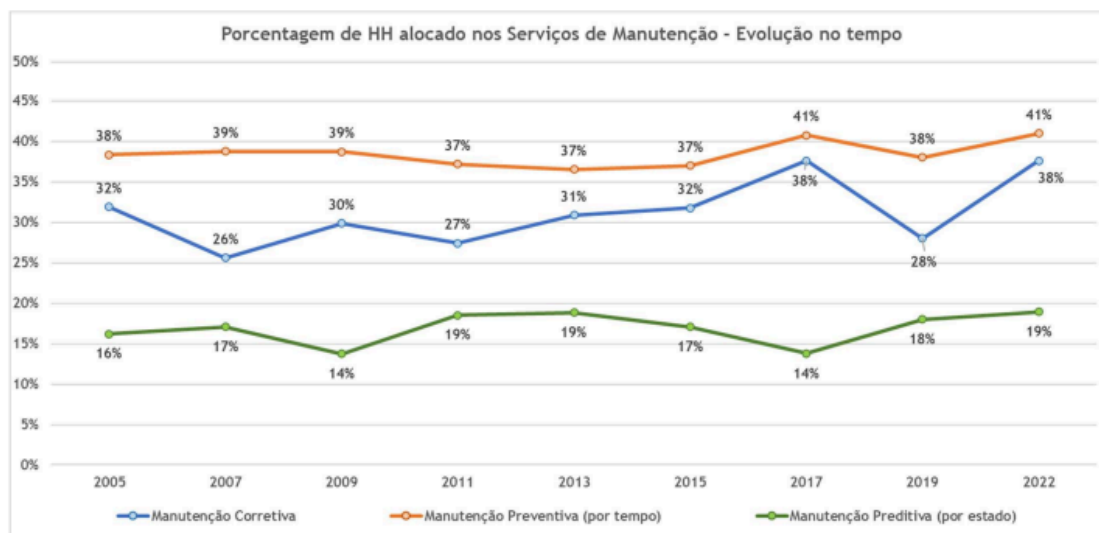
Para a realização da manutenção preventiva é necessário ter quatro critérios básicos, como: tempo, horas de funcionamento, produtividade ou ambos (tempo ou horas de funcionamento, o que ocorrer primeiro).

Conforme Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva deve ser adotada quando:

- Não é possível a manutenção preditiva;
- Aspectos relacionados à segurança tornam mandatória a intervenção;
- Surgir a oportunidade em equipamentos de difícil liberação operacional;
- Há riscos ao meio ambiente;
- Há parada geral em equipamentos estratégicos ou de operação contínua.

A manutenção preventiva se torna a mais usual nas empresas brasileiras e representa 41% de horas-homens alocados nos serviços de manutenção conforme o documento nacional publicado em 2022 pela ABRAMAN, a Figura 2 representa a distribuição de horas-homens nos três tipos de manutenção principais.

Figura 2 – Porcentagem de alocação de homem hora nos serviços de manutenção



Fonte – Abraman (2022)

A manutenção preventiva possui diversas vantagens, conforme Kardec e Nascif (2009) e Seleme (2015), citam:

- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Redução de custo a curto prazo;
- Menos interrupções no fluxo produtivo;
- Melhora na qualidade dos produtos;
- Conhecimento prévio das ações a serem tomadas;
- Previsibilidade de consumo de materiais.

Porém como todos tipos de manutenção, a manutenção preventiva também apresenta algumas desvantagens, conforme Gregório, Gabriela (2018):

- Introdução de defeitos não existentes devido a falha humana, falta de peças, danos durante partidas e paradas, etc;
- Custos desnecessários com a substituição de peças em condições de funcionamento.

2.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é uma abordagem inovadora que busca eficiência operacional e minimiza o tempo de inatividade dos equipamentos, utilizando técnicas de monitoramento e análise de dados para prever falhas antes que elas ocorram. Diferentemente da manutenção corretiva, que é realizada após uma falha, ou da

manutenção preventiva, que se baseia em intervalos regulares, a manutenção preditiva permite intervenções mais precisas e oportunas, baseadas no estado real dos equipamentos.

A premissa comum da manutenção preditiva é que o monitoramento regular da condição mecânica real, o rendimento operacional, e outros indicadores da condição operativa das máquinas e sistemas de processo fornecerão os dados necessários para assegurar o intervalo máximo entre os reparos. Ela também minimizaria o número e os custos de paradas não-programadas criadas por falhas da máquina (ALMEIDA, 2011).

Conforme Kardec e Nascif (2009), quando o grau de degradação do item se aproxima ou atinge o limite previamente estabelecido, é tomada a decisão de intervenção, o que permite uma preparação prévia. Essa intervenção é, então, uma manutenção corretiva programada.

Um dos principais benefícios da manutenção preditiva é a redução dos custos operacionais. Ao antecipar falhas e realizar manutenções apenas quando necessário, as organizações podem evitar paradas inesperadas que podem resultar em perdas significativas de produção. De acordo com a norma ISO 13379, que aborda a condição de monitoramento e a análise de falhas, a manutenção preditiva é fundamental para a gestão eficiente de ativos, permitindo uma utilização mais eficaz dos recursos e aumentando a confiabilidade dos sistemas (ISO, 2012).

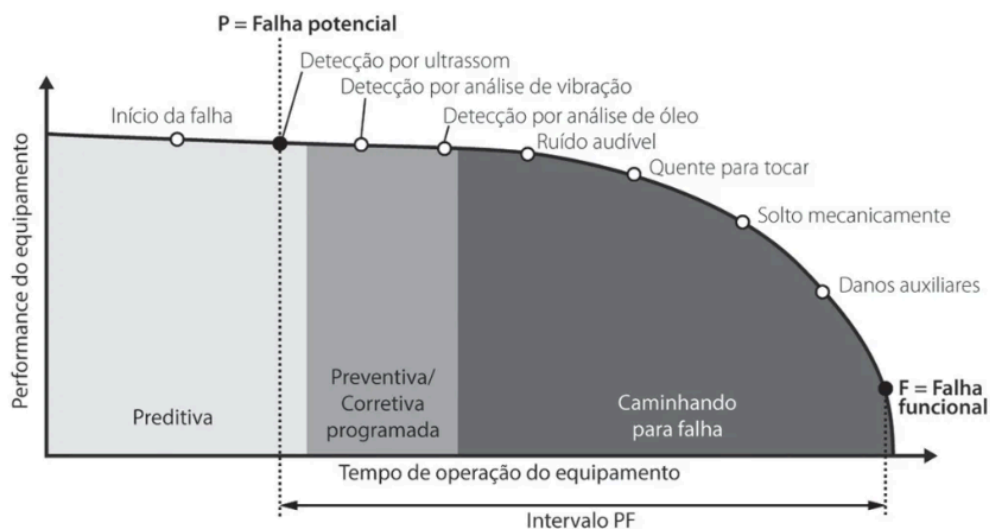
Kardec e Nascif (2009) destacam que, para a correta aplicação das técnicas de manutenção preditiva, é fundamental que:

- O operador do instrumento seja treinado e habilitado;
- Os instrumentos sejam aferidos e calibrados;
- Os dados coletados sejam interpretados por pessoal capaz;
- A média e a alta gerência confiem no diagnóstico.

Segundo Teles (2018), por meio da manutenção preditiva, é possível gerar a curva PF (Potencial de falha), que projeta o intervalo de tempo entre a falha potencial e a falha funcional.

O conceito é particularmente útil na implementação de estratégias de manutenção preditiva e preventiva, permitindo que as organizações antecipem falhas e realizem intervenções oportunas. Abaixo a Figura 3 representa a curva PF.

Figura 3 - Curva PF



Fonte - Gregório (2018)

A estrutura da curva PF é:

Ponto P (Falha potencial): Este ponto marca o início do processo de deterioração do equipamento. A partir deste momento, o ativo começa a apresentar sinais de que sua condição está se deteriorando, mas ainda está operando de forma aceitável. É nesta fase que a manutenção preditiva pode ser mais eficaz, pois as análises de condição podem identificar problemas antes que se tornem críticos.

Ponto F (Falha funcional): Este ponto representa a falha do equipamento, onde ele não consegue mais operar adequadamente. Neste estágio, as consequências de uma falha podem incluir paradas imprevistas, custos elevados de reparo e impactos na produção.

Ainda conforme Teles (2018), quanto maior o tempo para identificar e corrigir a falha, maiores serão os custos, o que indica que a curva de custo para reparo é inversamente proporcional à curva PF — o custo máximo se dá no momento em que a falha funcional ocorre, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 -Curva PF versus custo para reparo



Fonte: Gregório (2018)

Para tomar a decisão sobre quais equipamentos devem ser incluídos no plano de manutenção preditiva, Stonner (2014) sugere a análise de alguns fatores, como:

- Alto custo de manutenção;
- Excessivas quebras;
- Riscos para saúde, segurança e meio ambiente;
- Falhas que podem levar à deterioração irreversível do equipamento;
- Falhas que afetam fortemente a qualidade do produto.

2.2 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

A manutenção industrial, um pilar fundamental nas operações industriais, é frequentemente guiada por indicadores que refletem a saúde e a eficiência dos equipamentos. A análise desses indicadores não apenas proporciona uma visão clara do desempenho, mas também baseia decisões estratégicas que podem impactar diretamente a produtividade e confiabilidade dos equipamentos. Entre os mais relevantes, destacam-se a disponibilidade eletromecânica, o MTBF (*Mean Time Between Failures*), ou "Tempo médio entre falhas", o MTTR (*Mean time to repair*), ou "Tempo médio para reparo", OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) ou "Eficiência global do equipamento" e o BACKLOG de manutenção.

2.2.1 OEE

O OEE é um indicador de desempenho dos equipamentos do processo produtivo que considera todos os impactos causados na operação derivados da indisponibilidade de seus recursos físicos (CORRÊA; CORRÊA, 2017). Ele pode ser utilizado como indicador tanto do time de operação, quanto do time de manutenção. O objetivo do OEE é proporcionar dados suficientes para o processo de tomada de decisão com o intuito de obter o melhor aproveitamento possível em relação ao tempo total programado para produção (PARIS, 2016). O OEE consiste em um indicador tridimensional, pois mede o desempenho dos equipamentos em três considerações: disponibilidade, performance e qualidade (GUACHALLA, 2012). O OEE é representado pela Figura 5.

Figura 5 - Representação das dimensões do OEE



Fonte: Adaptado de Guachalla (2012)

O OEE dos equipamentos é calculado através da equação 1 abaixo:

$$OEE = Disponibilidade \times Performance \times Qualidade \quad (1)$$

A Disponibilidade refere-se ao tempo em que um equipamento está disponível para operação em comparação com o tempo total planejado. Este componente leva em conta paradas programadas e não programadas, ajudando a identificar problemas que afetam a operação.

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo operacional}}{\text{Tempo programado}} \quad (2)$$

A performance mede a velocidade de produção real em relação à capacidade máxima do equipamento. Analisa o tempo de ciclo e as taxas de produção, revelando ineficiências durante a operação.

$$Performance = \frac{(\text{Quantidade produzida} \times \text{tempo de ciclo})}{\text{tempo operacional}} \quad (3)$$

A Qualidade avalia a proporção de produtos que atendem aos padrões de qualidade em relação ao total produzido. Um alto índice de qualidade indica que a maioria dos produtos fabricados atende às especificações desejadas.

$$Qualidade = \frac{(\text{Quantidade produzida} - \text{Refugos})}{\text{Quantidade produzida}} \quad (4)$$

O World Class OEE é um índice utilizado como benchmark mundial pelas indústrias. Atualmente esse índice é de 85%, de maneira que, as empresas mais eficientes do mundo, possuem OEE igual ou superior a 85%. De maneira comparativa, as demais empresas possuem um OEE médio de 60%.

2.2.2 MTBF (Mean Time Between Failures)

O MTBF (Mean Time Between Failures), ou "Tempo Médio Entre Falhas", é uma métrica primordial na manutenção de equipamentos, utilizada para medir a confiabilidade e eficiência da manutenção. Ele quantifica o tempo médio que um equipamento opera sem falhas, sendo uma ferramenta para o planejamento de manutenções preventivas e preditivas. Ou seja, através deste indicador, consegue diagnosticar se determinado ativo apresenta falhas frequentes. Isso mostra que as manutenções preventivas não estão sendo executadas, ou que não há um plano de manutenções preventivas.

Como afirmam Silva e Pereira (2019), "um MTBF elevado é sinônimo de uma operação robusta, onde os equipamentos funcionam de maneira otimizada, contribuindo para a minimização de paradas inesperadas".

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ de horas de bom funcionamento}}{\text{Quantidade de paradas por manutenção corretiva}} \quad (5)$$

2.2.3 MTTR (Mean Time To Repair)

O MTTR (Mean Time To Repair), ou "Tempo Médio para Reparo", é outro parâmetro fundamental que auxilia na gestão da manutenção. Ele mede o tempo médio necessário para reparar um equipamento após a ocorrência de uma falha, e é essencial para avaliar a eficiência das operações de manutenção, se é necessário investir em qualificação para a equipe de manutenção ou recursos ferramentais. Como afirma Costa e Almeida (2020), "um MTTR otimizado não só minimiza o tempo de inatividade, mas também maximiza a produtividade, permitindo que as empresas mantenham sua competitividade no mercado".

A principal função do indicador de MTTR, é informar ao gestor da manutenção o quão bem qualificada está sua equipe para corrigir os problemas de maneira ágil. Ele também pode ser utilizado para identificar se as equipes possuem as ferramentas adequadas, se os técnicos estão próximos aos ativos em operação, dentre outras situações que caracterizam o rápido atendimento aos equipamentos da planta.

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{ dos tempos de reparo}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (6)$$

2.2.4 Disponibilidade eletromecânica

A disponibilidade eletromecânica é o principal indicador de manutenção. Esse indicador traz ao gestor da operação, quanto tempo determinado ativo ou linha de produção esteve disponível para operação, em relação ao tempo programado. Este indicador é um ótimo balizador da saúde de um equipamento, pois através dele é possível diagnosticar se as estratégias que a manutenção tem adotado, estão sendo eficazes.

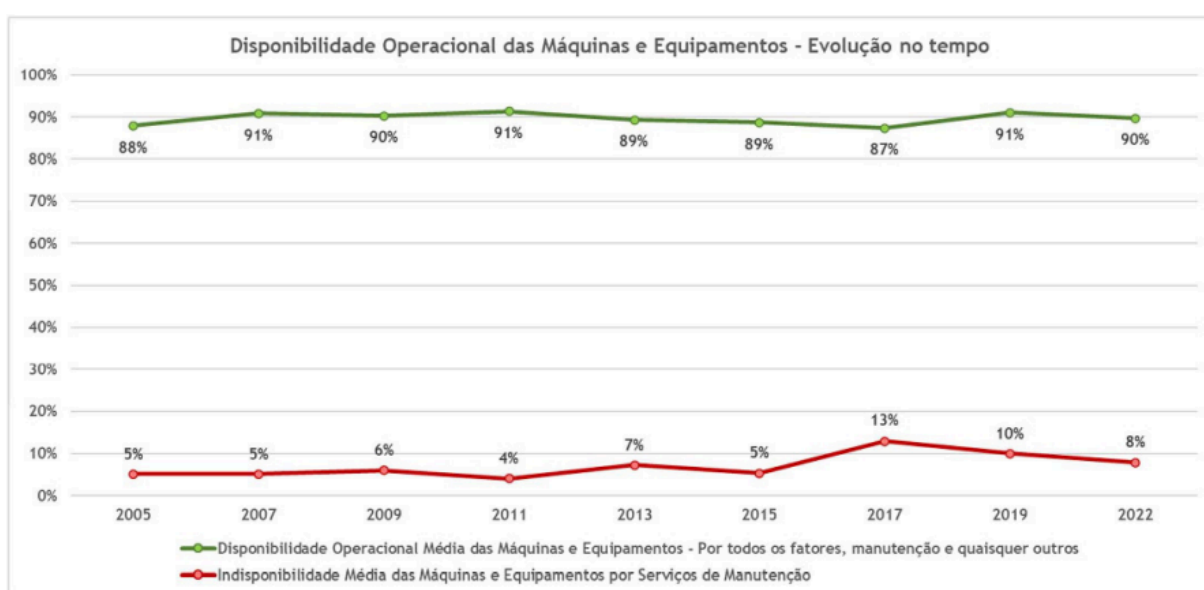
De acordo com Silva e Costa (2021), uma alta disponibilidade é sinônimo de uma estratégia de manutenção bem implementada, onde os ativos são mantidos em

condições ideais, minimizando paradas inesperadas e maximizando a produção. A disponibilidade pode ser calculada pela equação 7.

$$\text{Disponibilidade eletromecânica} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\% \quad (7)$$

Segundo dados do documento nacional da Abramam (2022), a disponibilidade geral de máquinas e equipamentos, segundo pesquisa feita em todo o Brasil, era de 90% no referido ano.

Figura 6 - Disponibilidade geral de máquinas e equipamentos – Evolução no tempo



Fonte: Documento nacional de manutenção - Abramam (2022)

2.3 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

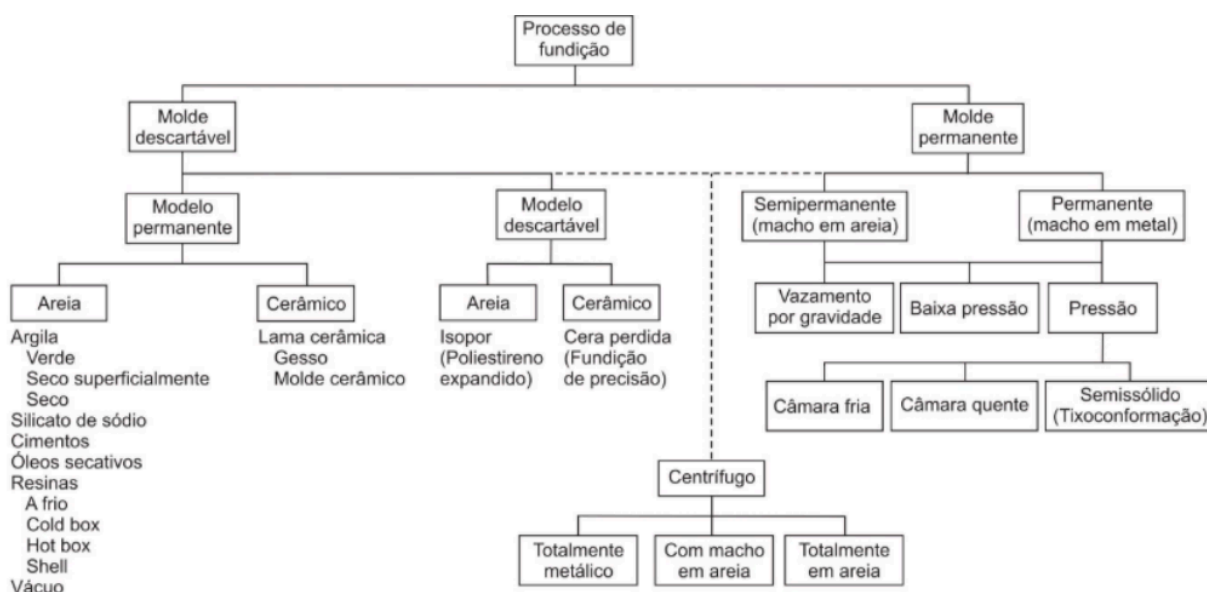
Uma fundição se dá por meio do derramamento de dado metal (ou liga metálica) líquido no interior de uma cavidade denominada molde cuja forma corresponde, em negativo, à da peça desejada (SIEGEL, 1985). Com a solidificação do metal derramado, obtemos a peça fundida. Esse método milenar de fabricação de peças evoluiu com a humanidade e tornou-se um dos mais versáteis, permitindo a fabricação de peças únicas ou em série nas mais variadas formas e complexidades e nos mais diversos tamanhos (BALDAM; VIEIRA, 2014). Há ainda o relevante fato de o processo ser um dos métodos mais econômicos de se produzir em série uma vasta gama de componentes metálicos. As etapas básicas de um

processo de fundição, geralmente, se dividem em projeto e confecção do modelo, confecção do molde e dos machos, derramamento do metal líquido, desmoldagem e acabamento. Em muitos contextos fabris, a fundição pode ser considerada um processo de fabricação de peças metálicas, que representa o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica líquida e a peça semi acabada, já em condições de uso, para utilização imediata (BALDAM; VIEIRA, 2014).

2.3.1 Principais processos de fundição

Os principais processos de fundição são moldagem em areia, moldagem em casca, sob pressão, shell molding, cold box, fundição de precisão e centrífuga. Todas as técnicas citadas são usadas na fundição dos metais. A escolha do processo adequado depende do tamanho e da geometria da peça, do tipo de liga a ser fundida, do número de peças a ser produzido e da qualidade superficial desejada (BALDAM; VIEIRA, 2014). Shey (2000) classifica os principais processos de fundição apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Classificação dos principais processos de fundição



Fonte: Adaptado de Shey (2000)

Este trabalho de conclusão de curso foi realizado numa fundição de areia verde.

2.3.1.1 Moldagem em areia verde

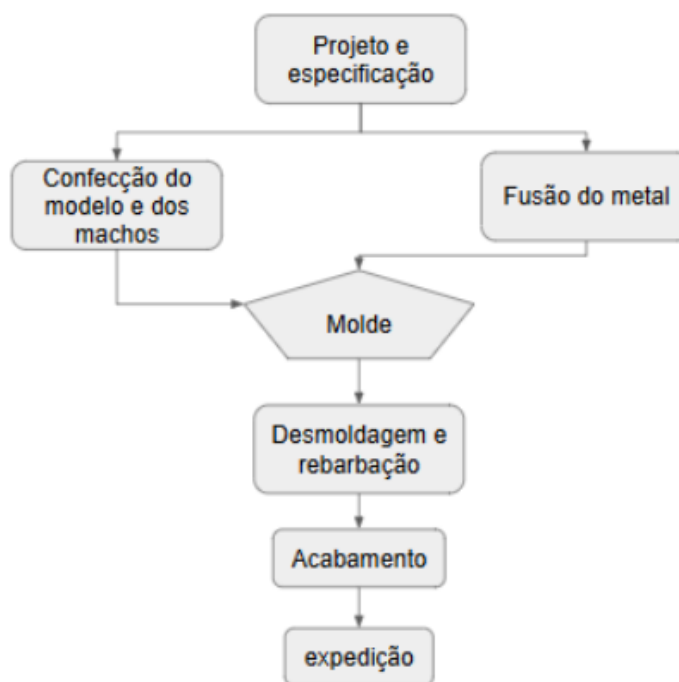
O processo de moldagem em areia verde é o mais conhecido e empregado na fundição. É preferido por motivos de economia e pelo fato de permitir a produção de peças de qualidade na maioria dos metais, tanto ferrosos como não ferrosos, e poder ser utilizado na produção em série. Esse processo consiste em compactar manualmente (ou através de máquinas) uma mistura de areia, composta basicamente de areia silicosa, argila e água, sobre um modelo no formato da peça a ser fundida. Retirado o modelo e colocados os machos eventualmente necessários, o molde é fechado, calçado, podendo receber o metal imediatamente sem a necessidade de secagem (SIEGEL, 1985).

Os constituintes básicos são, portanto, areia-base, argila e água, mas as areias de moldagem usadas na fundição contêm, normalmente, outros componentes adicionados intencionalmente que são denominados aditivos (MARIOTTO, 1986).

Quando aplicado à produção em série, o processo de areia verde atinge uma ótima sincronização entre a operação de moldagem e a fusão do metal, mesmo em funções em grande produção, principalmente porque os moldes podem ser vazados imediatamente depois de moldados. Em virtude de suas vantagens, o processo de moldagem em areia verde é o que mais tem progredido e vem substituindo outros dispendiosos, mesmo para atender à produção de peças sujeitas às especificações rigorosas (SIEGEL, 1985).

O fluxograma do processo de fundição em areia verde é representado na Figura 8 abaixo.

Figura 8 - Fluxograma da produção de peças fundida

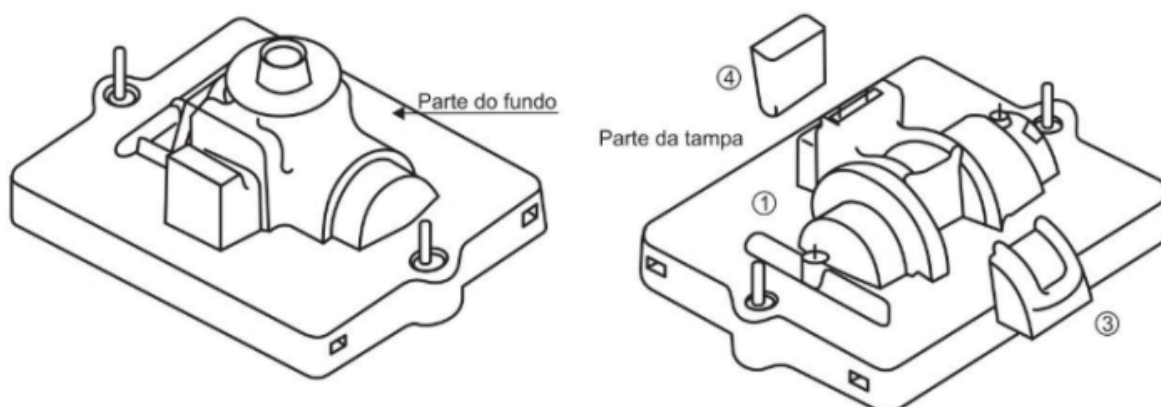


Fonte: Adaptado de Glória (2000)

2.3.1.1.1 Fabricação dos modelos

Segundo Costa (2020), o molde funciona como uma matriz, replicando exatamente a forma desejada da peça. Os moldes de areia verde, conforme Oliveira (2019), são notáveis pela sua flexibilidade. A mistura de areia, argila e água cria uma maleabilidade que permite a reprodução de formas complexas, tornando-os ideais para produção em massa. No entanto, a fragilidade é um ponto a ser considerado. Quando se trata de produção em série, procura-se uma maneira de simplificar a moldagem. Uma solução é fixar um ou vários modelos com o modelo dos sistemas de canais de enchimento e massalotes sobre a mesma placa. Esse conjunto é chamado de placa-modelo. Nessa classe, utilizam-se modelos de madeira dura envernizada ou madeira plastificada, montados em placas feitas de compensado laminado, Figura 9 (SILVA, 1984). Em fundições com avanço tecnológico maior, e que buscam melhores acabamentos nas peças fabricadas, são utilizados modelos de metal, como aço ou alumínio.

Figura 9 - Placa modelo



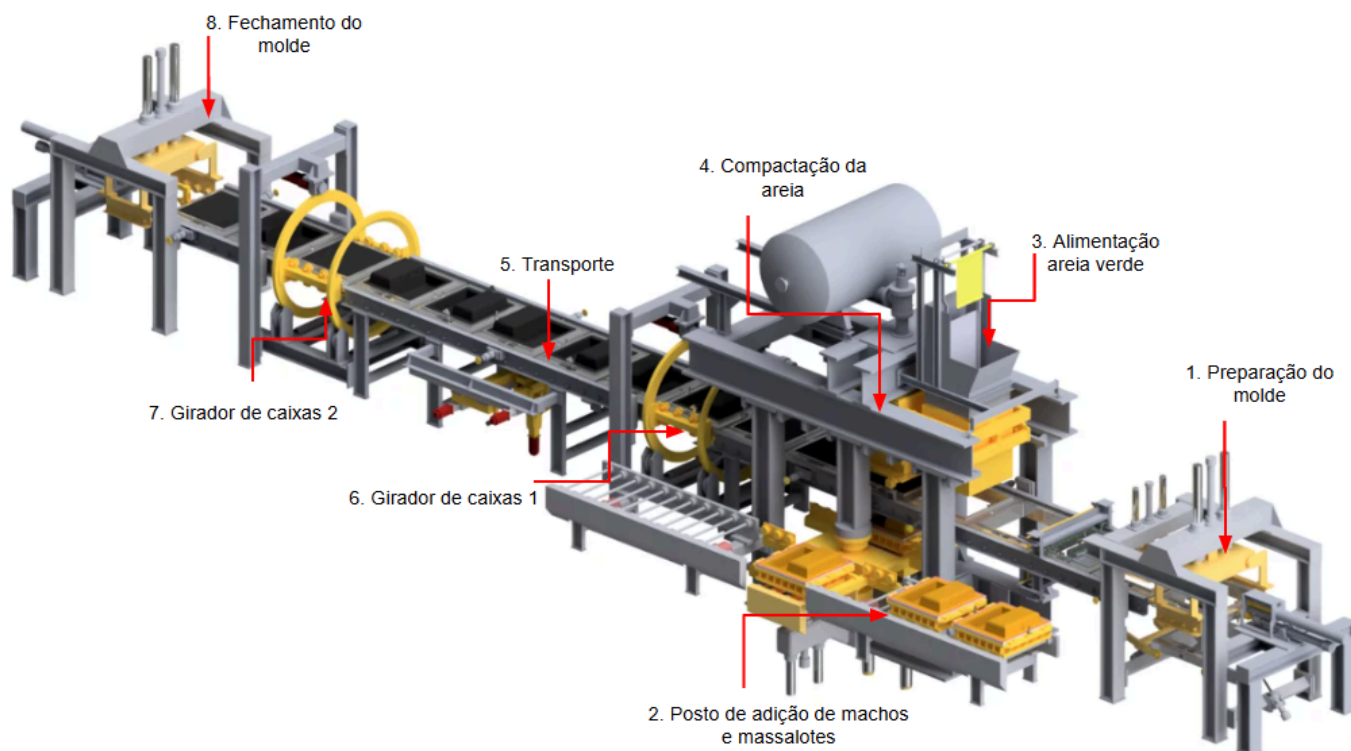
Fonte: Adaptado de Silva (1984)

2.3.1.1.2 Fabricação dos moldes

Os constituintes básicos são, portanto, areia-base, argila e água, mas as areias de moldagem usadas na fundição contêm, normalmente, outros componentes adicionados intencionalmente que são denominados aditivos (MARIOTTO, 1986). A qualidade da areia de moldagem tem uma influência considerável sobre a qualidade das peças fundidas e é resultante de um conjunto de propriedades, sendo que algumas delas podem ser medidas em condições padronizadas (SENAI, 1987).

Os equipamentos para a moldagem são essenciais para a produtividade e qualidade das peças fundidas, abaixo segue a Figura 10 que ilustra a máquina de moldar que faz parte deste estudo de caso.

Figura 10 - Exemplo de máquina de moldar automática



Fonte: Sinto (2025)

O processo pode ser dividido nas seguintes etapas, seguindo a numeração indicada:

1. Preparação do molde: Esta é a etapa inicial onde as metades do molde (caixas de moldagem) são preparadas para receber a areia. Isso pode envolver a limpeza das caixas ou a aplicação de desmoldantes.

2. Posto de adição de machos e massalotes: Aqui, os machos (componentes que formam cavidades internas na peça fundida) e os massalotes (reservatórios de metal líquido para compensar a contração durante a solidificação) são posicionados dentro das caixas de moldagem, sobre a placa modelo ou a areia já compactada de uma metade.

3. Alimentação de areia verde: Neste ponto, a areia de moldagem (geralmente areia verde, que é uma mistura de areia, argila e água) é alimentada nas caixas de moldagem, cobrindo os machos e massalotes e preenchendo o restante do volume.

4. Compactação da areia: Após o preenchimento, a areia é compactada dentro das caixas para garantir a densidade e a resistência necessárias do molde. Isso pode ser feito por vibração, prensagem ou sopro, de forma a formar uma cavidade precisa para a peça.

5. Transporte: As caixas de moldagem, agora com a areia compactada, são transportadas ao longo da linha de produção. Este transporte garante o fluxo contínuo entre as diferentes estações do processo.

6. Girador de caixas 1: Uma das metades do molde (geralmente a inferior ou a superior, dependendo do design da máquina) é girada. Isso é fundamental para permitir o fechamento do molde, alinhando as duas metades.

7. Girador de caixas 2: A outra metade do molde também é girada para se alinhar com a primeira, permitindo o encaixe perfeito entre as duas partes do molde.

8. Fechamento do molde: As duas metades do molde (caixa superior e caixa inferior) são unidas e fechadas firmemente. Este fechamento cria a cavidade interna onde o metal líquido será vazado. Após esta etapa, o molde fechado estará pronto para o vazamento do metal.

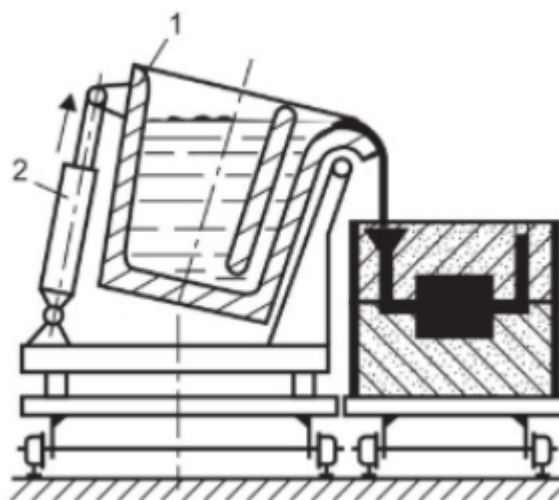
2.3.1.1.3 Fusão

A fusão é considerada por muitos metalurgistas, como o início e também o mais importante processo nas fundições. É na fusão que a sucata de aço é recebida, e juntamente com suas ligas, é adicionada aos cadinhos, onde o metal passa do estado sólido para o estado líquido. Nesta etapa do processo, importantes propriedades mecânicas são determinadas para as peças que serão fundidas. Essas propriedades vão variar de acordo com a composição da liga produzida, a velocidade do vazamento, o tempo de duração da fusão, e a temperatura do metal no momento do vazamento.

O forno a arco elétrico, utiliza a energia elétrica para gerar calor intenso, permitindo a fusão de materiais ferrosos e não ferrosos com eficiência notável. Segundo Smith (2020), a versatilidade do forno a arco elétrico o torna indispensável na produção de aço de alta qualidade. O forno de indução, que opera com base no princípio de indução eletromagnética, destaca-se pela sua capacidade de aquecer somente o metal, reduzindo o desperdício energético. De acordo com Johnson

(2019), este tipo de forno representa uma evolução significativa no processo de fundição, proporcionando uma fusão mais limpa e controlada. O tradicional forno de reverberação, que reflete o calor através de suas paredes, é frequentemente associado à fundição de metais não ferrosos, como o cobre e o alumínio. Segundo Adams (2021), a simplicidade e a eficácia do forno de reverberação solidificam seu lugar na história da fundição. Após a fusão do material líquido e especificação final da liga é realizado o processo de vazamento que pode ser de forma manual ou automática, abaixo a figura 11 representa o processo de vazamento automático.

Figura 11 - Exemplo de vazamento automático de panela vazadora



Fonte: Adaptado de Titov e Stepanov (1981)

2.3.1.1.4 Desmoldagem

Após a solidificação da peça e passado tempo suficiente para um devido resfriamento no molde, segue-se com o processo de desmoldagem que consiste na separação da peça da areia do molde (BALDAM; VIEIRA, 2014). A operação de desmoldagem pode ser realizada de diferentes maneiras, dependendo do tamanho da peça e do processo de produção. Segundo Baldam Vieira (2014) são utilizados basicamente três processos de desmoldagem: por choques, por vibrações e por extrusão.

A desmoldagem por choque é o processo mais antigo nas fundições de moldação manual, que está desaparecendo cada vez mais com o aumento da

produção e da produtividade, porém é interessante para as pequenas fundições, ou no caso de moldes de grande tamanho ou em fossa. De modo geral, esse processo subsiste cada vez que os investimentos que seriam necessários para modernizar o posto de trabalho parecem desproporcionais em relação ao tipo de produção (SENAI, 1987o). Conforme o tipo de moldagem e o tamanho das caixas, procede-se de modos diferentes: No caso de pequeno molde com areia verde, o operador deixa cair as caixas várias vezes ao chão (SENAI, 1987o). Para moldes de maior tamanho, a princípio se quebra a areia da caixa superior, utilizando um sistema de levantamento que puxa ligeiramente a caixa, enquanto o operador quebra a areia perto das paredes e travessas com um martelo, alavanca ou picareta (BALDAM; VIEIRA, 2014). Para o caso de moldes de tamanho grande ou em fossa, geralmente com areia bastante dura, são utilizados marteleletes pneumáticos. Primeiramente se separa a caixa superior, utilizando o processo anterior, ficando a peça enterrada no chão. Os operadores começam removendo a areia em volta da peça, com o auxílio dos marteleletes pneumáticos, de maneira a liberá-la (BALDAM; VIEIRA, 2014).

A desmoldagem por vibração é um processo comumente utilizado e compreende diferentes soluções que se justificam pelo tamanho dos moldes, cadência de produção, tipos de liga, de peças, material constitutivo dos moldes, e em certos casos pelo interesse que se pode ter em combinar com a desmoldagem uma operação para extrair os machos internos em parte ou totalmente (SENAI, 1987o). Esse processo tem três tipos de aplicações: Vibradores: um vibrador pneumático é fixado contra a parede da caixa para quebrar a areia.

É um processo empregado para os moldes a verde, e sobretudo os moldes de areia com cimento, resina furânica ou com silicato de sódio. Os moldes podem também ficar suspensos no gancho da ponte rolante, em vez de usar cavaletes (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Suporte-balança com vibradores: nesse processo, dois vibradores são suspensos por uma viga com possibilidade de ajustar a largura entre si, conforme o tamanho da caixa utilizada. Esse equipamento é usado, sobretudo, para moldes verdes, cujo rompimento é bastante fácil e rápido. (SENAI, 1987o). Grades vibrantes: São os aparelhos mais utilizados e os mais completos de desmoldagem. Eles permitem não apenas a destruição do molde, mas também a separação entre a areia e a peça (SENAI, 1987o).

A extrusão consiste essencialmente em posicionar um platô, cujas dimensões são ligeiramente inferiores às das caixas, em contato com a parte superior do molde, depois movimentar verticalmente o punção, de cima para baixo, de maneira a fazer cair o conjunto areia-peça (SENAI, 1987o).

2.3.1.1.5 Acabamento

O acabamento é a última etapa do processo de fundição, onde é possível transformar a peça bruta que foi fundida, em uma peça funcional. A primeira etapa após a desmoldagem da peça, é remover os canais, através dos quebradores de canais. Este processo pode ser manual, com o uso de martelos e marretas, ou automático, através do uso de manipuladores e/ou cunhas hidráulicas. Após a separação dos canais de alimentação da peça propriamente dita, é necessário remover o excesso de areia que continua aderida na peça. Usualmente o processo de jatos de granalha é utilizado, onde um equipamento direciona pequenos pedaços de metal, que irão colidir com a peça. Esse processo, também chamado de jateamento, remove a areia aderida, e faz com que a peça, a partir de agora, contenha essencialmente metal.

Passado o jateamento, teremos início ao processo de rebarbação. A finalidade da rebarbação é eliminar da peça todas as excrescências metálicas inúteis resultantes de remoção dos canais e massalotes, defeitos superficiais da moldagem e etc. Para isso são utilizados equipamentos como lima e martelo, esmerilhadeiras, marteletes pneumáticos, serras, prensas, tambores (BALDAM; VIEIRA, 2014).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão abordados os métodos utilizados para analisar o impacto que o aumento ou a redução das horas de atuação de manutenção sobre uma linha de moldar têm sobre a disponibilidade eletromecânica nesta determinada linha.

Com a determinação da linha de moldar e o tamanho da equipe que prestará manutenção a este equipamento, serão analisados dados mensais de produtividade, disponibilidade eletromecânica e horas de atuação do time de manutenção.

A metodologia desenvolvida foi efetuada em etapas e de modo sequencial:

Etapa 1: Revisão bibliográfica para compreensão dos conceitos necessários

Etapa 2: Estudo de caso

Etapa 3: Estudo dos dados

Etapa 4: Análise dos resultados

Etapa 5: Sugestão de regime de operação da linha de moldar.

Com base no levantamento de dados, procedeu-se à etapa central da pesquisa, que consistiu na análise do indicador de disponibilidade eletromecânica. Os cálculos correspondentes foram realizados através dos apontamentos da operação e de maneira automática, através do ERP utilizado pela indústria que foi objeto deste estudo.

De acordo com os índices obtidos, é possível, com o consenso de todo o time da alta gestão da empresa, definir o regime ideal de operação da linha de moldar, de acordo com os melhores valores de eficiência encontrados.

3.1 APLICAÇÃO E ANÁLISE DO INDICADOR DE DISPONIBILIDADE ELETROMECCÂNICA

Nesta seção será abordado como foi efetuado o estudo do impacto das horas de manutenção em uma linha de moldar sobre o indicador de disponibilidade eletromecânica. O horizonte de tempo analisado foi de 1 ano, tendo como intervalo o período de 01/01/2024 à 31/12/2024.

Para o cálculo do indicador de disponibilidade eletromecânica, foram coletados dados da linha de produção de uma máquina de moldar automática, que em situações normais de demanda e mercado, opera entre as 00:00 horas de todas as segundas, até as 08:00 horas do próximo sábado. Em outras palavras, são 128 horas de operação semanais ininterruptas, salvo manutenções corretivas e outras paradas do processo não previstas.

Figura 12 - Cronograma de operação de uma semana normal da linha de moldar

Turno	Dia da semana						
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
1	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Disponível
2	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Disponível	Disponível
3	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Produzindo	Disponível	Disponível
Legenda	Produzindo	Equipamento foi programado pelo time de PCP para operar					
	Disponível	Equipamento está disponível para ações de manutenção					

Fonte: Os autores (2025)

3.1.1 Linha de moldagem

A linha de moldagem é composta por inúmeros equipamentos característicos de uma fundição, onde é possível produzir o molde de areia de acordo com o modelo desejado. Neste estudo, a linha de moldar analisada foi a de modelo EFA-SD, do fabricante alemão Heinrich Wagner Sinto. Esta é uma linha de moldar automática, onde a interação com os operadores se restringe a definição de

parâmetros que a máquina deverá seguir e também ao processo de inserção de machos no interior dos moldes.

A capacidade desta linha de moldar é de 120 moldes a cada hora e essa produção poderá ser atingida, desde que alguns processos satélites estejam em acordo com a velocidade de operação da máquina. Estes processos satélites são: preparação de areia verde, colocação de machos, vazamento e desmoldagem. Embora a linha seja automática, o processo de colocação de machos da máquina em questão, é um processo manual. Logo, é necessária uma força de trabalho manual nesta etapa do processo, a fim de permitir que a máquina atinja a produção nominal.

3.1.2 Apontamento de paradas

A operação da planta é responsável pelo apontamento das interrupções que são feitas nos processos produtivos. O operador da linha de moldar verifica qual foi o motivo da parada no processo, e através do ERP da planta, faz o lançamento do tempo indisponível diretamente no sistema.

Existem classificações que facilitam o lançamento dos tempos em que o equipamento ficou parado, conforme imagem 13.

Figura 13 - Códigos das paradas da linha de moldar

Descrição da parada	Código	Descrição da parada	Código
Atraso ciclo fusão	1	Peças trancadas na desmoldagem	16
Atraso ciclo molgagem	2	Reparos nos refratários	17
Colocação de machos	3	Retomada fusão	18
Composição química	4	Retomada moldagem	19
Conserto modelo	5	Teste de pó	20
Contaminação de metal	6	Transferência de metal	21
Descarte de areia	7	Troca de liga	22
Falta de areia	8	Transferência de ferramental	23
Falta de metal/capacidade	9	Troca de pino e bucha	24
Limpeza de metal na panela	10	Troca de stopper e válvula	25
Limpeza moldagem	11	Limpeza da vara	26
Macharia	12	Vazamento manual	27
Molde descartado	13	Manutenção moldagem	28
Moldes falhados	14	Manutenção fusão	29
Moldes quebrados	15	Manutenção preparação de areia	30

Fonte: Dos autores (2025)

É baseado nos lançamentos feitos nos códigos 28, 29 e 30 que é calculado o indicador de disponibilidade eletromecânica. Nestes códigos são lançadas todas as interrupções do processo produtivo, em função de manutenções corretivas emergenciais.

A análise dos dados lançados pode ser feita através da extração de relatórios de um ERP Totvs 11 que no qual é um sistema de software de gestão empresarial que integra todas as funções e departamentos de uma organização em um único banco de dados centralizado. Ele oferece uma visão unificada e em tempo real de todas as operações de negócios. A planta também dispõe de ferramentas de Business Intelligence (BI) que facilitam e organizam a análise de tais dados.

Figura 14 - Extração dos dados de paradas de linha

Relatório de Produtividade das Células de Moldagem 25/03/2024 25/03/2025				
Código	Descrição	Q. Moldes	Peças (Kg)	M.Pad/H
	MM - Moldagem HWS (Turno 1)			
14.198-B	CUBO DA RODA A9463560201	56	5.848	120
14.252-B	CUBO DE RODA A9793560201	75	6.534	120
14.315-B	SUPORTE ESQUERDO A4602242	50	2.228	120
14.316-B	SUPORTE DIREITO A46022425	36	1.766	120
14.325-B	SUPORTE SUSPENSAO TRASEIR	36	2.349	120
14.327-B	SUPORTE DA MOLA A38432000	36	1.901	120
14.328-B	SUPORTE DA MOLA A38432001	45	2.430	120
16.107-B	SUPORTE DO MOTOR 2435420	36	1.512	120
16.108-B	SUPORTE DO MOTOR 2435422	48	2.131	120
16.126-B	SUPORTE MULTIFUNCIONAL 30	46	2.383	120
16.132-B	SUPORTE CAIXA DE CAMBIO 3	5	214	0
Total - MM		469	29.296	120

Código	Descrição	Valor (em horas)
29	Manutenção da Fusão	0,1167
28	Manutenção da Moldagem	0,0667
15	Moldes Quebrados	0,0167
20	Teste do Pó	0,05
	Total	0,24937

Fonte: Dados empresariais (2025)

3.1.3 Equipe de manutenção

A equipe de manutenção que presta atendimento a essa máquina de moldar (mas não somente a este equipamento), é composta por 27 colaboradores, que se revezam durante os turnos produtivos, de maneira que sempre haja uma equipe plantonista para atender as demandas da operação. A especialidade destes colaboradores está de acordo com os padrões de indústrias de fundição, sendo eles eletricitas, mecânicos e caldeireiros/soldadores. A planta onde este estudo de caso foi efetuado, opera em 3 turnos separados, ou seja, a cada turno de operação, estão presentes na planta 9 técnicos de manutenção.

Além do time de atuação direta, há também uma área de apoio a essa manutenção de campo, onde planejadores, analistas e especialistas, desenvolvem

trabalhos de engenharia de manutenção, de maneira a elevar os índices de disponibilidade eletromecânica da linha.

3.1.4 Engenharia de manutenção

Na área de engenharia de manutenção, são desenvolvidas atividades com objetivo de aumentar a confiabilidade dos ativos e reduzir os custos de manutenção. Essa equipe conduz trabalhos de planejamento de manutenções preventivas e corretivas programadas, rotina de inspeções dos ativos, manutenções preditivas, além do desenvolvimento de análises de causa para as paradas corretivas emergenciais.

3.1.5 Planejamento de manutenção

O planejador de manutenção é o colaborador responsável pelo gerenciamento dos planos preventivos dos equipamentos, além de receber todas as demandas das solicitações de serviços (imagem 15), que são notas criadas pelos técnicos de manutenção, com objetivo de garantir que atividades possam ser programadas para momentos em que a linha não estiver operando.

Figura 15 - Exemplo de uma solicitação de serviço

06.9.5610 - MI1001 - 2.00.01.056 - Manutenção Solicitação Serviço - 100 -

Arquivo Ajuda

Solicitação Serviço: 517.630 Estado: Pendente Data: Hora: 11:11:54

Página 1 Página 2 Página 3 Narrativa

Descrição: SUBSTITUIR O ROLAMENTO DA ESCOVA ROTATIVA

Equipamento: MAQUINA DE MOLDAR HWS

TAG: HWS MOLDAGEM MAQUINA HWS II

Família:

Centro Custo: Moldagem HWS

Causa:

Sintoma:

Intervenção:

Usuário: ALYSSON FERNANDO GARDA

Unidade Negócio: FUN Fundição

Entre os dados ou pressione ESC para sair.

Fonte: Dados empresariais (2025)

Para a linha deste estudo de caso, o volume de manutenções preventivas e manutenções corretivas programadas, é maior do que a capacidade de execução dos técnicos disponíveis. Ou seja, neste momento podemos observar de fato o impacto que as horas de linha disponíveis para a manutenção começam a impactar na disponibilidade eletromecânica do ativo.

Os planos preventivos do ativo são itens que estão em constante mutação, de acordo com o comportamento da máquina. Em casos de inspeção periódica de determinado item que nunca apresenta anomalia, a periodicidade deste plano preventivo pode aumentar. Por outro lado, caso estejam ocorrendo falhas num outro ponto do ativo, antes da periodicidade de um plano preventivo que aborda este ponto, a periodicidade de manutenções preventivas pode diminuir.

Figura 16 - Parte dos planos preventivos do ativo estudado

Equipamento	Manutenção	Descrição	Ct	FT	Faixa Utiliz
MM	PVMBM01	BIMESTRAL ELE&MEC - TRAVAS DOS ELEVADORES (16:00)	1	180	0,00
MM	PVMMAN01	ANUAL ELE- SUBSTITUIR BATERIA CPU DO CLP (00:30)	1	365	0,00
MM	PVMMAN02	PREV. ANUAL MM0026	1	365	0,00
MM	PVMMAN03	PREVENTIVA MECÂNICA ANUAL (M.G. CORR. ENCODER) 2h	1	364	0,00
MM	PVMMAN05	PREVENTIVA MEC. ANUAL PARAF. ELEV.	1	365	0,00
MM	PVMMAN06	ANUAL - TROCA DO CONJUNTO DA MESA GIRATÓRIA (05h)	1	365	0,00
MM	PVMMAN08	SEMESTRAL - TROCA DO CILINDRO MESA PRENSAGEM (15h)	1	182	0,00
MM	PVMMAN11	INSPEÇÃO ANUAL DAS MANGUEIRAS ELEVADOR 1	1	182	0,00
MM	PVMMAN12	PREVENTIVA MECÂNICA ANUAL TROCA CIL. DESMOLDAD	1	365	0,00
MM	PVMMAN13	ANUAL HIDRÁULICA - 12:00 hrs	1	365	0,00

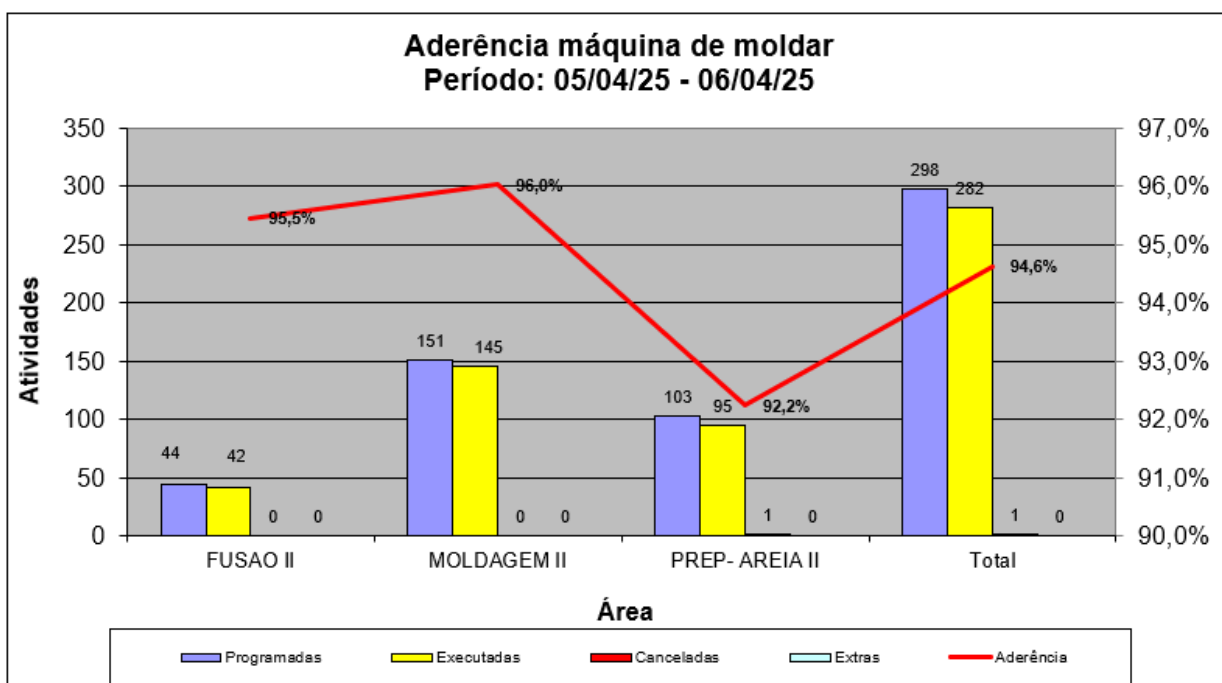
Legenda	
Ct	n° de profissionais
FT	Faixa de tempo (em dias)
MM	Máquina de moldar

Fonte: Dados empresariais (2025)

Semanalmente os planejadores de manutenção efetuam programações, de maneira a alocar as atividades a serem executadas aos respectivos responsáveis pela execução. De maneira a garantir que as execuções estão ocorrendo conforme planejado, há um relatório gerado pelo sistema para confrontar a relação entre ordens programadas e ordens executadas. Este relatório é chamado de análise de aderência, e visa identificar os desvios na programação.

As atividades não executadas no prazo são reprogramadas e incluídas no backlog de manutenção para que um controle e serve de histórico e parâmetro para futuras manutenções.

Figura 17 - Exemplo de relatório de aderência de atividades programadas



Fonte: Dados empresariais (2025)

3.1.6 Inspeções preditivas

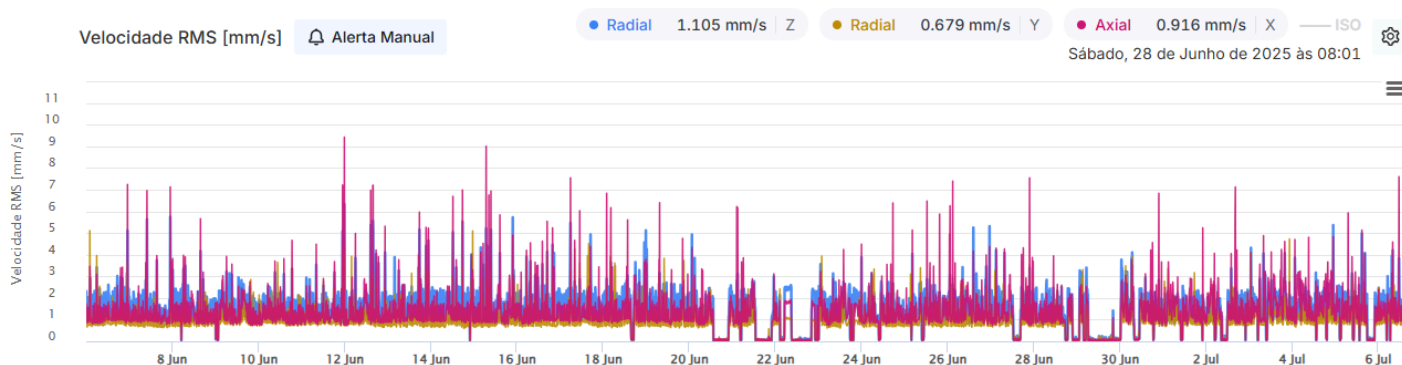
De maneira a auxiliar na tomada de decisões em relação a manutenção em componentes da máquina, este equipamento passa por rotas preditivas de maneira constante. Tanto a linha quanto seus equipamentos periféricos são analisados de maneira distinta, por alguns métodos de manutenção preditiva.

Mensalmente são realizadas análises de vibração nos equipamentos rotativos, cedendo um importante diagnóstico acerca da condição dos rolamentos dos transportadores de areia, nas engrenagens das caixas redutoras, e dos motores das bombas hidráulicas, por exemplo. A lista de ativos monitorados, que estão conectados à linha de moldar, é vasta. Alguns exemplos são: Panela de vazamento automática, misturadores e resfriadores de areia, exaustores, bombas hidráulicas e etc. Na figura 16, temos um exemplo de um espectro de análise de vibração de um equipamento rotativo.

Também na periodicidade mensal, é efetuado a análise de óleo de alguns dos ativos da linha de moldar. A análise de óleo é uma ferramenta que subsidia tanto o diagnóstico da condição do óleo hidráulico, como também do equipamento que o

está utilizando. Este tipo de análise traz informações em relação à unidade hidráulica da linha de moldar, e também de seus periféricos, além da condição dos redutores de velocidade que são amplamente utilizados nos equipamentos de preparação de areia.

Figura 18 - Exemplo de espectro de vibração de um equipamento rotativo



Fonte: Traction licença empresarial (2025)

Por vezes, equipamentos de pequeno porte também passam por análise de óleo. Isso porque, a informação que o lubrificante nos dá sobre a condição do ativo, é muito mais proveitosa do que o valor do lubrificante em si.

Figura 19 - Exemplo de laudo de análise de óleo

Ensaio (Unidade)	Método	ESPECIFICAÇÃO	ATENÇÃO	CRÍTICO	29/04/23	27/03/23	31/01/23	27/11/22
PROPRIEDADE FÍSICO QUÍMICA								
Viscosidade Cinemática a 40 °C (cSt)	M.A. 10	61,2 a 74,8	N/A	< 61,2 ou >74,8	62,89	63,28	62,89	66,86
Água (Crepitação)	NBR 16358	AUSENTE	N/A	PRESENTE	Presente	Presente	Ausente	Presente
Água/Destilação (%)*	NBR 14236	< 0,02	0,02 a 0,029	> 0,03	0,05	0,40	N/A	0,90
Água Karl Fischer (ppm)	NBR 11348	< 200	200 a 299	> 300	541	4018	107	9076
T.A.N. (mg KOH/g)	M.A. 07	< 2,00	N/A	> 2,01	0,40	0,48	0,28	0,32
Aparência	M.A. 13	LÍMPIDO	RESÍDUOS SÓLIDOS	TURVO	Res. Sólidos	Turvo	Límpido	Turvo
Odor	M.A. 14	CARACT.	ANÔNIA	N/A	Caract.	Caract.	Caract.	Caract.
Cor (Comparativo)	NBR 14483	≤ 8	N/A	TURVO	Turvo	Turvo	3,50	Turvo

Fonte: Purilub (2025)

Para cada propriedade, são definidos intervalos ou condições para as categorias:

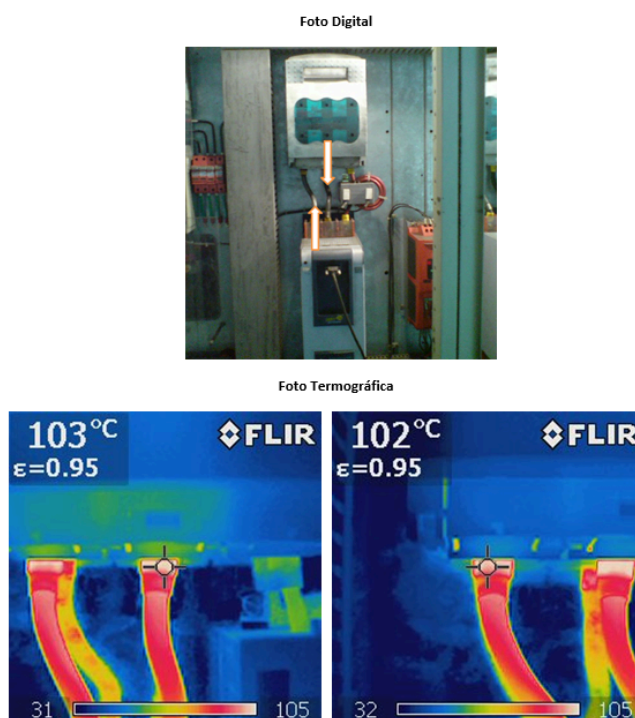
Especificação (verde): Indica que o valor está dentro dos limites aceitáveis.

Atenção (amarelo): Indica que o valor está em uma faixa que requer atenção.

Crítico (vermelho): Indica que o valor está fora dos limites aceitáveis e exige ação imediata.

Por fim, a condição da máquina de moldar e seus equipamentos periféricos, também são avaliados através de análises termográficas. As análises termográficas são executadas na periodicidade semestral, e busca identificar falhas de características elétricas em disjuntores, transformadores, cabos de alimentação e outros. Usualmente as análises termográficas possuem laudo de interpretação mais fácil se comparada às demais técnicas, em função de uma grandeza mensurável no dia a dia: a temperatura. Além disso, a qualidade da imagem térmica vem evoluindo com o passar dos anos, fazendo com que facilmente seja identificado o objeto fora da especificação.

Figura 20 - Exemplo de laudo termográfico



Fonte: Os autores (2012)

Efetuada as análises, o planejador de manutenção recebe as solicitações de serviço, junto aos laudos preditivos, e encaminha as atividades corretivas programadas para execução, de acordo com os intervalos de máquina disponíveis para manutenção.

3.1.7 Análise de causa e efeito

A análise de causa e efeito de falha, ou também análise de falhas, é uma ferramenta utilizada pelo time da engenharia de manutenção, de maneira a investigar as causas de falhas que impactaram a linha produtiva com paradas superiores a 30 minutos. O trabalho de análise de falhas é conduzido pelos analistas de manutenção, que se reúnem com os colaboradores que atuaram nas paradas corretivas emergenciais, de maneira que em conjunto, possam tanto encontrar a causa raiz da falha, como definir o plano de ação para evitar a reincidência da mesma.

Figura 21 - Exemplo de análise de falha

ANÁLISE DE FALHAS						Nº	249
REGISTRO							
Equipamento: CORREIA TRANSPORTADORA (RECE)		Código: CT00XX		Área: PREPARAÇÃO DE ARÉ		Motivo: Impacto	AF Reinc: 0
OM	Parada		Retorno		Tempo Parada	Total de Parada	Parada Linha
5.346.545	Data: 01/11/13	Hora: 10:21	Data: 01/11/13	Hora: 11:33	1,2	1,2	1,35
Falha: ROMPEU EMENDA DA CORREIA.							
Atraso:	* NÃO HAVIA GRAMPO NO ESTOQUE PARA FAZER O REPARO. TEVE QUE ESPERAR O FORNECEDOR TRÁZER EMERGENCIALMENTE. QUANDO GRAMPEADO A CORREIA E TESTADO EM MANUAL, A MESMA SE ABRIU. ENTÃO FOI REMENDADO/GRAMPEADO COM UM PEDAÇO DE CORREIA E LIBERADO.						
Ação corretiva:	* (E) CORREIA RASGOU NA PARTE LATERAL, FOI TENTADO GRAMPEAR A CORREIA, QUANDO TESTAMOS EM MANUAL A CORREIA SE ABRIU PRATICAMENTE AO MEIO, FOI GRAMPEADO OUTRO PEDAÇO DE CORREIA PELA PARTE INFERIOR PARA PODER LIBERAR A MÁQUINA ATÉ FINAL DE SEMANA PARA FAZER A TROCA.						
Pendência:	REALIZAR A TROCA DESTA CORREIA NO PRÓXIMO FIM DE SEMANA.						
ANÁLISE							
Porque 1:							
Porque 2:							
Porque 3:							
Porque 4:							
Porque 5:							
Mão de Obra	Método	Máquina		Defeito Indesejado			
		- CORREIA APRESENTAVA DESGASTE; - ROLO PODE ESTAR MAL DIMENSIONADO; - OCORRE O DESALINHAMENTO DA CORREIA NA INVERSÃO DE SENTIDO; - CORREIA FICA ABAIXO DO SILO, SOFRENDO ALTA CARGA DE AREIA;		ROMPEU EMENDA DA CORREIA. Causa não identificada			
		- A MOMENTOS QUE A TEMPERATURA DA AREIA SOBRE A CORREIA É SUPERIOR A 340 °C.					
Meio Ambiente	Medida	Matéria Prima					
Fundamental: A momentos em que a temperatura da correia é superior a 350 °C							

Fonte: Os autores (2025)

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este estudo de caso analisou os dados operacionais de um ano de uma linha de moldar. Dentre os dados analisados, estão:

- Horas disponíveis para atuação da manutenção
- Horas paradas por manutenção
- Média/hora de moldes produzidos
- Tonelagem mensal produzida
- Disponibilidade eletromecânica

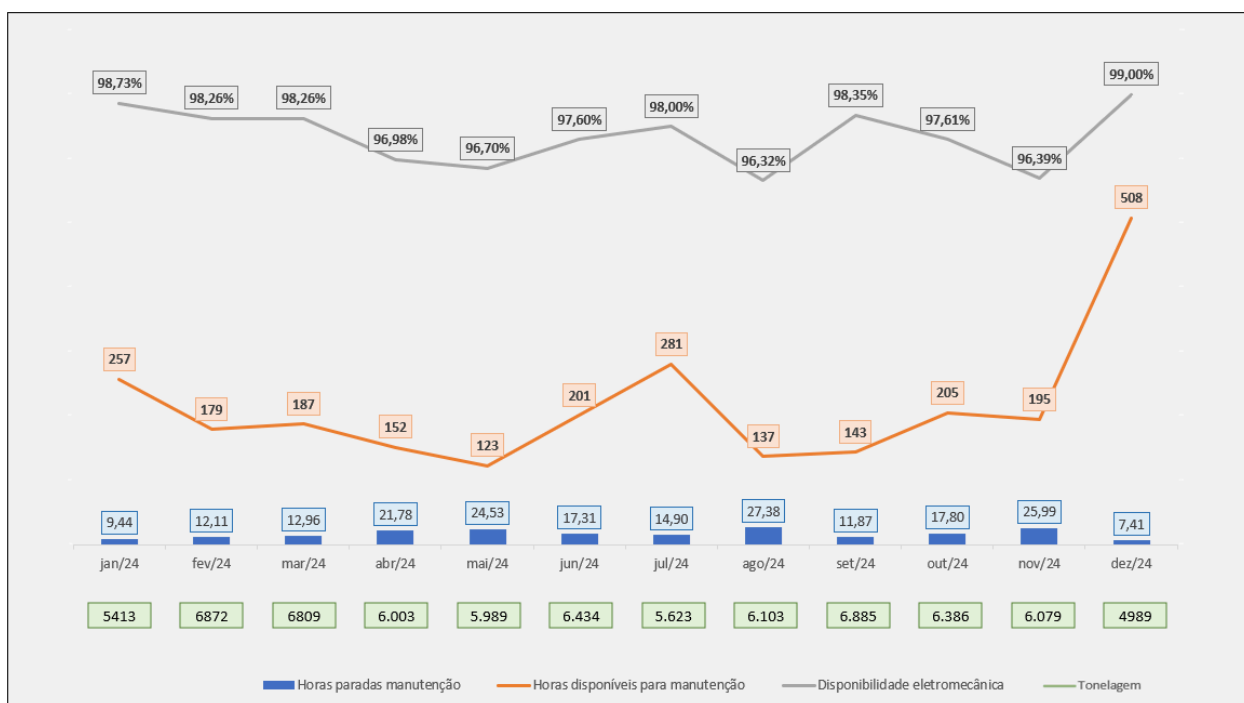
Figura 22 - Dados analisados no período de um ano

Período	jan./24	fev./24	mar./24	abr./24	mai./24	jun./24	jul./24	ago./24	set./24	out./24	nov./24	dez./24
Horas paradas manutenção	9,44	12,11	12,96	21,78	24,53	17,31	14,9	27,38	11,87	17,8	25,99	7,41
Horas disponíveis para manutenção	257,18	178,64	187,47	151,57	122,73	200,61	280,68	137,03	143,4	205	194,97	508,41
Disponibilidade eletromecânica	98,73%	98,26%	98,26%	96,98%	96,70%	97,60%	98,00%	96,32%	98,35%	97,61%	96,39%	99,00%
Tonelagem	5.413	6.872	6.809	6.003	5.989	6.434	5.623	6.103	6.885	6.386	6.079	2.544
Moldes/Hora	115	114	114	111	110	113	113	109	114	113	109	115

Fonte: Dados empresariais (2025)

De maneira a facilitar a visualização dos dados e entender as correlações, principalmente entre as horas disponíveis para manutenção e a disponibilidade eletromecânica, criou-se um gráfico trazendo esta e outras métricas do processo de fundição através de uma linha de moldar automática.

Figura 23 - Gráfico de dados das paradas



Fonte: Os autores (2025)

Devido a característica da planta, os meses de janeiro, julho e dezembro, acabam apresentando valores acima da média de horas disponíveis para manutenção. Isso porque, neste período são efetuadas paradas gerais na planta que coincidem também nas férias na Europa, onde o time de operação entra em férias coletivas, e dessa maneira todo o complexo fica disponível para atuações de manutenção. Geralmente são nestes períodos que grandes quantidades de atividades são executadas, não só no volume, mas também em proporções, devido a possibilidade de trabalhos contínuos, com 5 ou mais dias de duração.

Os dados de horas disponíveis para manutenção foram obtidos através do relatório extraído do ERP, onde foi subtraído o número total de horas do mês, pela quantidade de horas programadas pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP) para a referida linha. Da mesma maneira, as horas de paradas de manutenção são exibidas no mesmo relatório, onde ao final de cada dia, são expressos os códigos de paradas e o somatório dos tempos de cada uma delas.

A média de moldes/hora produzidos, é uma relação da quantidade total de moldes num determinado período, pela quantidade de horas produzidas. Observa-se que este dado tem grande conexão com a disponibilidade eletromecânica, onde em meses em que a disponibilidade está mais próxima ao 100%, o indicador de moldes/hora se aproxima de 120, que é a produção nominal da linha. No entanto, a indisponibilidade do ativo devido a manutenções não é o único motivo que impacta sobre a quantidade de moldes produzidos, o que significa que não se pode fazer uma relação direta entre estes dois dados.

Uma das maneiras na qual são mensurados o volume de produção de uma fundição, é a tonelagem. Isso porque, são variados os modelos de peças, quantidade de peças por modelo, proporção dos canais, e outros. O meio para se chegar a este valor, é através da multiplicação do peso total da peça, pela quantidade de peças produzidas. Este indicador também possui forte vínculo com a disponibilidade eletromecânica da linha.

Quando avalia-se todos os indicadores dos mês a mês a disponibilidade eletromecânica atinge uma alta taxa quando é disponibilizado um maior tempo para as atividades de manutenção corretiva programada ou preventiva, conseqüentemente as paradas de manutenção corretiva tendem a diminuir.

O time da engenharia de manutenção é quem analisa cotidianamente estes indicadores, onde a partir deles e utilizando suas ferramentas de análise, propõe melhorias para o processo, a fim de alcançar o máximo valor de disponibilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção dos ativos de uma planta industrial é uma das principais ferramentas que auxiliam os gestores a alcançar os objetivos de produtividade e eficiência. Não se tolera mais no mundo globalizado, manutenções aquém das boas práticas internacionais, atuando apenas de maneira corretiva e enxergando a manutenção como uma despesa. As ferramentas de manutenção preventiva, preditiva e engenharia de manutenção, são os principais aliados dos times de manutenção na busca pelo máximo índice de disponibilidade. Tais técnicas não são nada simples, e exigem um time técnico e capacitado, de maneira a garantir que as rotinas sejam executadas no tempo correto. A fundição que baseou este estudo, possui uma linha contínua, ou seja, a falha em qualquer equipamento que está englobado neste processo produtivo desencadeará na parada da moldadora por completo. Dessa maneira, as manutenções sistemáticas e programadas são essenciais para a eficiência operacional da linha.

Concluimos com base nos dados da figura 23, que a disponibilidade eletromecânica das linhas de fundição possui alta relação com as horas disponibilizadas para a manutenção dos ativos, ou seja, em momentos em que mais horas de produção foram programados com o objetivo de aumento de produtividade, acabou-se impactando a eficiência da planta. Quando as horas mensais de manutenção são inferiores a 180, geraram grande impacto sobre as rotinas de manutenção, elevando consideravelmente a indisponibilidade.

Para futuros estudos e melhor entendimento dos processos de manutenção, é aconselhado:

- Analisar em quais turnos de operação há um maior número de falhas.
- Analisar o tempo de experiência dos técnicos dos turnos onde há maior incidência de paradas.
- Comparar máquinas do mesmo modelo, ou modelo similar, a fim de verificar se possuem comportamento similar.

REFERÊNCIAS

ABRAMAN. A Situação da Manutenção no Brasil - Documento Nacional. Salvador: ABRAMAN, 2022.

ABIFA. Guia ABIFA das Fundições 2024. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/wp-content/uploads/2025/01/Guia-ABIFA-das-Fundicoes-2024.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

ALMEIDA, R. P. Manutenção Preditiva: Conceitos e Aplicações. Editora Técnica, 2011.

Andersen, B.; Fagerhaug, T. Root Cause Analysis: Simplified Tools and Techniques. 2. ed. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2006.

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

BALDAM, R. de L.; VIEIRA, E. A. Fundição - Processos e Tecnologias Correlatas. 2. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2014.

BRANCO FILHO, G. A organização, o planejamento e o controle da manutenção. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

Brown, T. Priorização de Tarefas de Manutenção: Estratégias para a Eficiência Operacional. Publicações Industriais, 2019.

CORRÊA, C. A.; CORRÊA, L. H. Administração de produção e operações: manufatura e serviços, uma abordagem estratégica. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Costa, J.; Almeida, R. Eficiência na Manutenção: O Impacto do MTTR nas Operações Industriais. Journal of Industrial Engineering, v. 35, n. 4, p. 102-115, 2020.

DEMING, W. E. Out of the Crisis. MIT Center for Advanced Educational Services, 1986.

ELIAS, J. Análise de custos de manutenção em empresas: um estudo de caso. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Campo Real, Guarapuava, 2019. Disponível em: <https://conhecimentolivre.org/wp-content/uploads/edd/2019/11/129221815-22-2019-1.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

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

Guachalla, W.F. Avaliação dos reflexos da operação do virador de vagões em produção e na fila de trens para descarga de produtos. Belo Horizonte, 2012.

HANSEN R. C. Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/ manutenção para aumento dos lucros. Porto Alegre: Bookman, 2006.

HEINRICH WAGNER SINTO Maschinenfabrik GmbH. Flask Moulding Machines and Lines. [S.l.]: [s.n.], 2023. Disponível em: <https://www.wagner-sinto.de/en/products/flask-moulding-machines-and-lines/>. Acesso em: 10 maio 2025.

Ishikawa, K. Introduction to Quality Control. Productivity Press, 1990.

ISO. ISO 13379: Condition monitoring and diagnostics of machines – Data interpretation and diagnostics. International Organization for Standardization, 2012.

ISO. ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology. International Organization for Standardization, 2014.

ISO. ISO 55001: Asset management – Management systems – Requirements. International Organization for Standardization, 2014.

KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção Função Estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MANUTENÇÃO preditiva. Engeman, 2018a. Disponível em: <https://blog.engeman.com.br/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 05 maio 2025.

MARIOTTO, C. L. Curso de Areias de Moldagem: Volumes 1 e 2. 15. ed. São Paulo: ABM, 1986.

MONTANO, A.; ROJAS, L. Aplicación de la FMEA en la industria. Revista de Ingeniería Industrial, 2015.

Moubray, J. Reliability-centered maintenance. 2. ed. New York, NY: Industrial Press Inc., 1997.

NAKAJIMA, S. Total Productive Maintenance: The Japanese Way. Productivity Press, 1988.

Ohno, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press, 1988.

PARIS, L. Overall Equipment Effectiveness – OEE: necessário, mas não suficiente, uma análise integrando o OEE e a Data Envelopment Analysis – DEA. 2016. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

Pinto, A. K; Xavier, J.N. Manutenção função estratégica. 4. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark editora, 2012.

RABELO, G. M. Estudo e Análise do Indicador Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line Aplicado em uma Empresa de Autopeças. 2016. 88 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

SELEME, R. Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento. Curitiba, PR: InterSaberes, 2015.

SENAI. Acabamento e Rebarbagem de Peças Fundidas. Belo Horizonte: Senai, 1987a.

SENAI. Areias de Fundição Aglomeradas com Argila. Belo Horizonte: Senai, 1987b. v. 1.

SHEY, J. Introduction to Manufacturing Process. Nova York: McGraw-Hill, 2000.

SHINGO, S. A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint. Productivity Press, 1989.

SIEGEL, M. Fundição. 15. ed. São Paulo: ABM, 1985.

Silva, J.; Costa, R. Estratégias de Manutenção e sua Relação com a Disponibilidade de Equipamentos. *Journal of Maintenance Engineering*, v. 29, n. 1, p. 45-60, 2021.

Silva, J.; Pereira, R. Confiabilidade e Manutenção: O Impacto do MTBF nas Operações Industriais. *Revista de Engenharia*, v. 28, n. 2, p. 78-90, 2019.

Silva, J.; Santos, R. Gestão de Manutenção: Estratégias e Práticas. São Paulo: Editora Manutenção Eficiente, 2020.

SILVA, J. R.; PEREIRA, M. A. Fundamentos do Acabamento de Peças Fundidas. Editora Técnica, 2020.

SMITH , A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. RCM: gateway to world class maintenance. 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth–Heinemann, v. 1, 2004.

Smith, J.; Cooper, L. Gestão de Backlog de Manutenção: Práticas e Desafios. Editora Técnica, 2020.

STONNER, R. Manutenção Preventiva e Preditiva - 8 passos para a implantação. BlogTek, 2014. Disponível em:
<https://blogtek.com.br/manutencao-preventiva-preditiva-8--passos--implantacao/>.
Acesso em: 05 maio 2025.

TELES, J. Curva PF: o que é e como usar. Engeteles, 2018. Disponível em:
<https://engeteles.com.br/curva-pf/>. Acesso em: 30 abr. 2025.

TITOV, N. D.; STEPANOV, Y. A. Foundry Practice. 2. ed. Moscow: Mir, 1981.

ANEXO A - ANÁLISE DE FALHAS

ANÁLISE DE FALHAS

Nº

248

REGISTRO

Equipamento:	PENEIRA	Código:	PN0003	Área:	PREPARAÇÃO DE AREIA	Motivo:	Impacto	AF Reinc:	0
OM	Parada		Retorno		Tempo Parada	Total de Parada	Parada Linha		
700.118.412	Data:	30/05/25	Hora:	7:00	Data:	30/05/25	Hora:	7:39	0,65

Falha: SOBRECARGA NO MOTOR DA PENEIRA

Atraso: Desmoldagem continuou operando devido a jumper no programa ocasionando sobrecarga na CT0083

Ação corretiva: * (E) DESARMOU O MOTOR DA PENEIRA HEXAGONAL POR SOBRECARGA. A SOBRECARGA OCORREU DEVIDO AO NIVEL DE AREIA DO SILO PULMÃO TER ATINGIDO AS TELAS DA PENEIRA, E A SONDA DE NIVEL MÁXIMO NÃO ATUOU. O NIVEL DO SILO SUBIU RAPIDAMENTE EM FUNÇÃO DE A CORREIA CT0065 ESTAR PATINANDO NOS ROLOS. A PARADA SE ACENTUOU POIS QUANDO O RETORNO ESTAVA DESLIGADO, AS DESMOLDADEIRAS PERMANECERAM LIGADAS E OCASIONOU EXCESSO DE AREIA NA CT0083, SENDO NECESSÁRIO RETIRAR O EXCESSO PARA PODER PARTIR NOVAMENTE. AS DESMOLDADEIRAS PERMANECERAM LIGADAS, POIS FINAL DE SEMANA FOI FEITO UM JUMP PARA TESTAR A CV0011 EM MANUAL E NÃO FOI OBSERVADA A RETIRADA DESTA.

Pendência :

ANÁLISE

Porque 1:

Porque 2:

Porque 3:

Porque 4:

Porque 5:

Mão de Obra	Método	Máquina	Defeito Indesejado
		- Silo pulmão encheu até encima devido a falha de funcionamento da sonda de nível máximo; - CT0065 patinou e o vigia não acusou.	Sobrecarga no motor da peneira
Meio Ambiente	Medida	Matéria Prima	Causa não identificada

Fundamental: Vigia da sonda máxima não funcionou e a CT0065 patinou não gerando falha.

ANÁLISE DA COMISSÃO

Tivemos uma parada por sobrecarga na peneira rotativa devido a sonda de nível máximo não ter funcionado. O enchimento do silo ocorreu devido a correia CT0065 patinar e não gerar vigia. Tivemos um contratempo devido a parada do sistema de areia e a desmoldadeira continuou a desmoldando gerando sobrecarga na correia CT0083. A desmoldadeira não parou devido a um jumper no programa do CLP feito no final de semana para testes do sistema e foi esquecido? a remoção do jumper após a conclusão das atividades. Foi levantado a questão da areia estar úmida gerando torrões e excesso de peso por metro cúbico contribuindo com a patinação da CT0065. Esse problema foi decorrente a necessidade de ter desmoldado as caixas na quarta-feira devido a solicitação por parte da manutenção para efetuar manutenção nos trilhos da linha de resfriamento nova. Com a Desmoldagem das caixas, foi necessário encher moldar um numero considerável de caixas com areias verde sem vazamento, gerando uma areia úmida e compacta no sistema.

Participantes da Comissão

Participante 1:	Participante 1	Função	Analista de Manutenção
Participante 2:	Participante 2	Função	Estagiário de Manutenção
Participante 3:	Participante 3	Função	Eletricista de Manutenção
Participante 4:	Participante 4	Função	Mecânico de Manutenção
Participante 5:			
Responsável pela Análise:	Participante 1	Data da Análise:	01/06/25

CONTRAMEDIDAS E ABRANGÊNCIAS

Nº	Descrição	Prazo	Responsável	Status	SS	OM	Comentário
1	Instalar sensor vigia no rolete movido da CT0065	6/20/2025	Responsável 1	Ok	47083	0	
2	Instalar sonda de nível crítico	7/1/2025	Responsável 2	Ok	0	700118598	
3	Criar lógica no programa CLP	6/20/2025	Responsável 3	Ok	47099	0	
4	Efetuar uma instrução de trabalho quanto aos riscos do jumper	6/20/2025	Responsável 4	Ok	0	0	Foi Instruído todos os eletricitistas quanto aos riscos do jumper no programa do CLP

Observação:

ENCERRAMENTO DA ANÁLISE DE FALHA

Data do encerramento : 25/06/25