



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS (OEE) E PROPOSTAS DE MELHORIA PARA UMA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL DE BOBINAS DE AÇO

Analysis of the overall equipment effectiveness (OEE) and improvement proposals for a steel coil longitudinal cutting machine

Análisis de la efectividad global del equipo (OEE) y propuestas de mejora para una máquina de corte longitudinal de bobinas de acero

Augusto Colombo de Mendonça¹, Oswaldo Braga Bagni², Rita de Cassia Feroni^{3*}, & Wander Demonel⁴

¹²³⁴ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

¹ augusto.mendonca@edu.ufes.br ² oswaldobragab@gmail.com ^{3*} ritaferoni@gmail.com ⁴ wander.demonel@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 23.09.2025

Aprovado: 20.10.2025

Disponibilizado: 30.10.2025

PALAVRAS-CHAVE: OEE; Indicadores de desempenho; Máquina de corte longitudinal; Tempo de setup.

KEYWORDS: OEE; Performance indicators; Longitudinal slitting machine; Setup time.

PALABRAS CLAVE: OEE; Indicadores de desempeño; Máquina cortadora longitudinal; Tiempo de setup.

*Autor Correspondente: Feroni, R. de C.

RESUMO

A eficiência global do equipamento - OEE é um indicador amplamente utilizado na indústria para mensurar a eficiência de equipamentos, considerando três componentes: disponibilidade, desempenho e qualidade. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a eficiência global do equipamento para uma máquina de corte longitudinal de bobinas de aço, identificando fatores que impactam a produtividade e propor melhorias para o desempenho do processo de produção. A análise do primeiro período amostral revelou resultados de disponibilidade, desempenho e qualidade iguais a 10,54%, 44,15% e 98,65%, respectivamente, com o OEE de 4,59%. Utilizando-se de ferramentas da gestão da qualidade, identificaram-se os principais motivos de perdas do processo produtivo e propor melhorias. Para o segundo período amostral, foram adotadas intervenções como a programação das ordens de produção, alocação de um ajudante extra na operação e a instalação de uma guia para reduzir o embolo do refil. Como resultado, obteve-se um OEE igual a 9,52%, disponibilidade de 20,70%, desempenho de 46,58% e a qualidade de 98,69%. O OEE mostrou-se duas vezes maior no segundo período amostral, sugerindo que as melhorias implementadas foram efetivas e poderão mostrar resultados melhores se implementadas todas em conjunto e associadas com ações de longo e médio prazo.

ABSTRACT

Overall Equipment Effectiveness (OEE) is a widely used indicator in industry to measure equipment efficiency, considering three components: availability, performance, and quality. In this context, the present study aims to

analyze the OEE of a steel coil longitudinal slitting machine, identifying factors that impact productivity and proposing improvements to the production process performance. The analysis of the first sample period revealed availability, performance, and quality rates of 10.54%, 44.15%, and 98.65%, respectively, resulting in an OEE of 4.59%. Using quality management tools, the main causes of production losses were identified, and improvement measures were proposed. For the second sample period, interventions were implemented, such as scheduling production orders, assigning an additional assistant to the operation, and installing a guide to reduce edge trim jams. As a result, an OEE of 9.52% was obtained, with availability at 20.70%, performance at 46.58%, and quality at 98.69%. The OEE was more than twice as high in the second sample period, suggesting that the implemented improvements were effective and may yield even better results if applied together and associated with medium- and long-term actions.

RESUMEN

La Eficiencia Global del Equipo (OEE, por sus siglas en inglés) es un indicador ampliamente utilizado en la industria para medir la eficiencia de los equipos, considerando tres componentes: disponibilidad, desempeño y calidad. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la eficiencia global de una máquina cortadora longitudinal de bobinas de acero, identificando los factores que impactan la productividad y proponiendo mejoras en el desempeño del proceso de producción. El análisis del primer período de muestreo reveló tasas de disponibilidad, desempeño y calidad de 10,54%, 44,15% y 98,65%, respectivamente, resultando en un OEE de 4,59%. Mediante herramientas de gestión de la calidad, se identificaron las principales causas de pérdidas en el proceso productivo y se propusieron mejoras. Para el segundo período de muestreo, se adoptaron intervenciones como la programación de las órdenes de producción, la asignación de un ayudante adicional en la operación y la instalación de una guía para reducir el atasco del recorte. Como resultado, se obtuvo un OEE de 9,52%, con una disponibilidad del 20,70%, un desempeño del 46,58% y una calidad del 98,69%. El OEE fue más del doble en el segundo período, lo que sugiere que las mejoras implementadas fueron efectivas y podrían generar mejores resultados si se aplican en conjunto y se complementan con acciones a mediano y largo plazo.



INTRODUÇÃO

A crescente competitividade no setor siderúrgico exige das empresas não apenas a entrega de produtos de alta qualidade, mas também a otimização contínua de seus processos produtivos. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2025), em 2024, o setor mineral brasileiro registrou alta de 9,1% no seu faturamento e no total de exportações, com um aumento de 2,6% em toneladas, em relação ao ano anterior. Ainda segundo o IBRAM (2025), o setor concentra mais de 221,6 mil empregos diretos e apresenta uma estimativa de investimento de US\$ 68,4 bilhões no período de 2025-2029. O Instituto Aço Brasil - IAB (2025) destaca que, no primeiro trimestre de 2025, a produção de aço bruto no Brasil alcançou 8,3 milhões de toneladas, assegurando ao país a nona posição no *ranking* mundial, correspondendo a 1,8% da produção global, com um faturamento que representou um crescimento de 4,7% em relação ao primeiro trimestre de 2024.

Neste cenário, a busca pela eficiência operacional configura-se como um diferencial estratégico. Quando associada a tecnologias adequadamente planejadas, essa prática não garante apenas a sustentabilidade organizacional, mas também fortalece a competitividade da empresa no mercado (Chan et al., 2005; Mwafufyomwenyo et al., 2025). Dessa forma, gestores podem utilizar informações obtidas de avaliações de performance dos processos produtivos e sistemas de manufatura para a tomada de decisões sobre como efetuar melhorias mais efetivas e eficientes nos seus sistemas de produção (Garza-Reyes et al., 2010; Ladeira et al., 2012; Sancheta e Feroni, 2021).

Estudos destacam indicadores de desempenho de gestão e manutenção, tais como: custos de manutenção, qualidade da manutenção, disponibilidade, produtividade, número de falhas, tempo de inatividade (Parida et al. 2015; Franciosi et al. 2021), eficiência global do equipamento (OEE), tempo médio de reparo (Parida et al. 2015; Franciosi et al. 2021; Mohan et al. 2021) e tempo médio entre falhas (Parida et al. 2015; Mohan et al. 2021). Os sistemas de medição de desempenho precisam ser proativos e dinâmicos e os indicadores associados precisam se ajustar aos objetivos da empresa (Franciosi et al. 2021).

A eficiência global do equipamento (*Overall Equipment Effectiveness*, OEE) é um dos indicadores mais utilizados para mensurar eficiência dos equipamentos na gestão da produção (Rasheed & Rasheed, 2016; Al Hazza, Ali, & Razif, 2021). O OEE mostra-se como uma ferramenta para a estimativa quantitativa da Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* - TPM) (Brodny & Tutak, 2017). A TPM busca a melhoria da produtividade, minimizando erros e gargalos no processo (Andrade, Patuzzo, & Cardozo, 2025), tendo como base a manutenção planejada, de forma a manter máquinas e equipamentos operando sem problemas, produzindo produtos livres de defeitos para atender a satisfação total dos clientes (Ahmad & Shahwaz, 2015; Tenório et al. 2024).

Dessa forma, o indicador OEE destaca-se na mensuração e na otimização do desempenho industrial, permitindo avaliar a disponibilidade, o desempenho e a qualidade dos processos produtivos (Nakajima, 1988; Santos & Santos, 2007; Andersson e Bellgran, 2015). Tsarouhas (2015) destaca que o OEE é essencial para medir a produtividade do sistema, revelando custos ocultos associados à eficiência dos equipamentos. O uso do OEE auxilia no monitoramento do desempenho, identificando e reduzindo as perdas significativas no processo de produção e isso possibilita uma oportunidade de melhoria e de otimização dos recursos disponíveis para a produção (Beraldo & Madureira, 2025).



Garza-Reyes et al. (2010), destacam que o OEE previne a subotimização de máquinas individuais e linhas de produção, fornecendo uma abordagem sistemática para definir objetivos de desempenho e implementar melhorias de processos, incorporando ferramentas de gestão para alcançar uma visão equilibrada da disponibilidade, desempenho e qualidade. A aplicação do OEE pode ser um diferencial para maximizar a utilização dos equipamentos e aprimorar a gestão da produção, permitindo a identificação de gargalos operacionais, possibilitando a implementação de estratégias voltadas para o aumento da eficiência, reduzindo tempos improdutivos, falhas no processo e retrabalho (Abdullah et al., 2025). Neste sentido, o OEE busca quantificar perdas de disponibilidade, desempenho e qualidade, oferecendo uma visão abrangente da eficácia dos processos produtivos (Lucantoni et al., 2024).

Segundo Nakajima (1988), um OEE satisfatório deve atingir um valor igual ou superior a 85%, sendo que as componentes disponibilidade, desempenho e qualidade, devem ter valores iguais ou superiores a 90%, 95% e 99%, respectivamente. Hansen (2006) complementa que o OEE, inferior a 65% é um índice inaceitável, exigindo ações de correção e melhoria; valores entre 65% e 75% são considerados bons; entre 75% e 85%, muito bons; e valores acima de 85% equivalentes aos padrões de empresas de classe mundial.

A literatura científica mostra vários estudos nos quais o indicador OEE foi utilizado para melhorar a gestão da produção das empresas. No estudo de Knop et al. (2019) foi analisado o OEE durante um período de amostragem de trinta dias em uma linha de produção alimentícia, chegando aos valores de 90.90% para a disponibilidade, 51.67% para o desempenho e 99.98% para a qualidade, resultando em um índice global de 46.92%. Os autores verificaram que em 53.08% do tempo de operação, as máquinas da linha não desempenharam de forma eficiente, refletindo o baixo índice de desempenho. O estudo destaca ainda que essa ineficiência foi causada pela baixa produtividade de uma máquina de rotulagem, que por se tratar de uma máquina antiga, que necessitava de limpeza e manutenção, demonstrou inúmeros problemas na aplicação da cola no rótulo antes de aplicá-lo.

Lima, Souza e Arese (2020), aplicaram o OEE em uma linha de corte de chapas de aço. Com a aplicação de ferramentas como mapeamento do processo, gráfico de controle, gráfico de Pareto, 5 porquês, diagrama de Ishikawa, identificou-se que o indicador que mais impactou a eficiência produtiva foi a disponibilidade, através do alto tempo de parada de regulagem e alto tempo de *setup*. O uso destas ferramentas no contexto do OEE elevou esse indicador de uma média de 60% para 68,2% ao final do período analisado.

Dias et al. (2021) aplicaram o OEE em uma máquina considerada chave para a fabricação de atomatados. Os autores coletaram dados de produtividade da máquina antes e após a implantação das melhorias propostas para o processo. A análise dos dados mostrou baixo valor para o índice de disponibilidade, sendo que o problema principal estava relacionado às dobras no pacote, por motivo dos rolamentos de movimentação estarem desgastados, ocasionando o desalinhamento do carrossel. As melhorias propostas foram a troca dos rolamentos e o alinhamento do carrossel, resultando em um aumento do OEE, que passou de 76,31% para 88,05%.

No estudo de Abdullah et al. (2025), a aplicação do OEE em uma máquina de vulcanização de pneus revelou um índice inicial de 63%, impactado principalmente pela baixa disponibilidade e desempenho, enquanto a qualidade dos produtos permaneceu satisfatória (98%). A fim de melhorar esse valor, os autores implementaram melhorias na manutenção, otimizações nos processos e treinamentos para os operadores, o que trouxe como resultado um OEE da máquina de 73%, com a disponibilidade subindo de 79% para 85% e a performance de 82% para 88%, evidenciando um avanço significativo na eficiência operacional.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a eficiência global do equipamento (OEE) para uma máquina de corte longitudinal de bobinas de aço, identificando fatores que impactam a produtividade e propor melhorias para o desempenho do processo de produção.

METODOLOGIA

UNIDADE DE ESTUDO

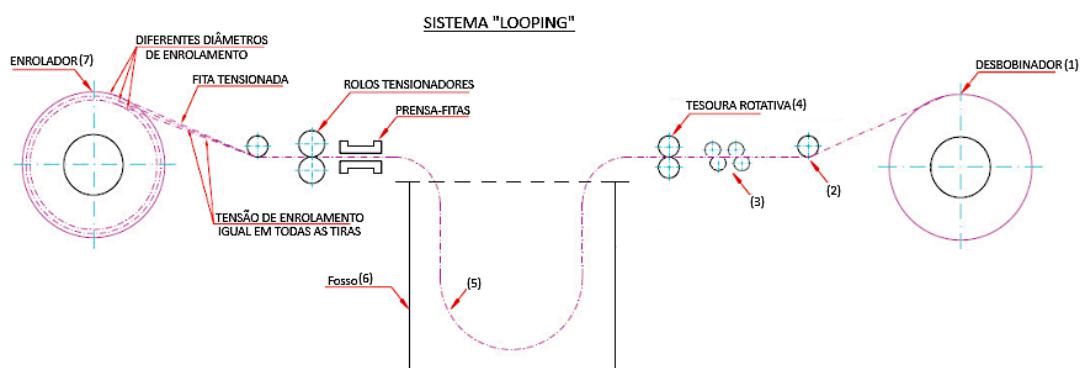
Para o presente trabalho, aplicou-se um estudo de caso em uma distribuidora de produtos siderúrgicos de aço como tubos e perfis, localizada no estado do Espírito Santo, Brasil, que também atua em outros estados, distribuindo seus produtos para todo o país. A empresa está no mercado há 54 anos, conta com mais de 150 funcionários e possui uma produção anual superior a 40 mil toneladas de aço. Por questão de sigilo e respeito à privacidade, o nome da empresa não será divulgado.

Segundo Gil (2002), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que permite uma investigação aprofundada e contextualizada de um fenômeno, sendo particularmente útil quando se busca compreender as dinâmicas de um caso específico dentro de seu ambiente real.

DESCRÍÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO ESTUDADO

O processo de corte longitudinal é amplamente utilizado na indústria metalúrgica para transformar grandes bobinas de aço em tiras menores que são então rebobinadas, formando rolos com larguras menores (Figura 1).

Figura 1. Esquema de corte longitudinal de bobinas de aço com sistema looping



Fonte: Adaptado de Divimec (s.d.)

Segundo o manual de funcionamento da máquina de corte longitudinal *slitter*, fornecido pela empresa DIVIMEC (s.d.), a operação inicia-se com a preparação da bobina mãe, quando a bobina mãe é colocada sobre o mandril desbobinador (1) para ser realizado o desbobinamento. Em seguida a ponta inicial da bobina é levada até os rolos tracionadores (2), que conduzem o material pelas etapas de nivelamento (3) até chegar na tesoura rotativa (4), onde o corte propriamente dito é realizado. Durante o processo de corte, guias laterais controladas via interface homem-máquina (IHM) são utilizadas para manter a bobina em uma

linha contínua, auxiliando a condução pelo “bocal de entrada” até a saída das sobras de corte, a rebarba (denominado refilo pelos operadores da empresa estudada), que serão enroladas pelo enrolador de sucata. Seguindo o processo, as tiras cortadas passam pela mesa de looping (5) que estará inicialmente erguida sobre o fosso (6), para chegar até o mandril enrolador (7) onde as tiras são novamente enroladas.

Ao final do processo de corte, as tiras são enroladas e presas com fitas de amarração (cintamento das bobinas), formando vários rolos com larguras menores, mais estreitas. O manual ainda destaque que, as máquinas de corte longitudinal são projetadas para realizar esse processo com alta precisão, atendendo às especificações exatas de cada aplicação. Ao fim de cada ordem de produção diferente é realizado o *setup* matriz, caso seja necessária a troca das tesouras rotativas.

COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Em ambientes industriais a amostragem muitas vezes torna um projeto viável, pois pode ser impraticável inspecionar cada unidade produzida devido às limitações de tempo, custo e recursos. Assim, ao selecionar uma amostra aleatória de produtos é possível estimar as características do lote inteiro, bem como, tende a diminuir os efeitos da heterogeneidade da população, tornando a amostragem, uma ferramenta essencial para obter dados representativos de um lote de produção (Ishikawa, 1976; Mineiro, 2020). Ishikawa (1976) destaca que, ao realizar amostragens é importante considerar a "população" da qual a amostra é retirada. Ainda segundo o autor, no contexto do controle de processos, a população é o processo de fabricação em si, que opera sob condições fixas, sendo os produtos resultantes desse processo considerados uma "população infinita", pois, teoricamente, poderiam ser produzidos indefinidamente sob as mesmas condições.

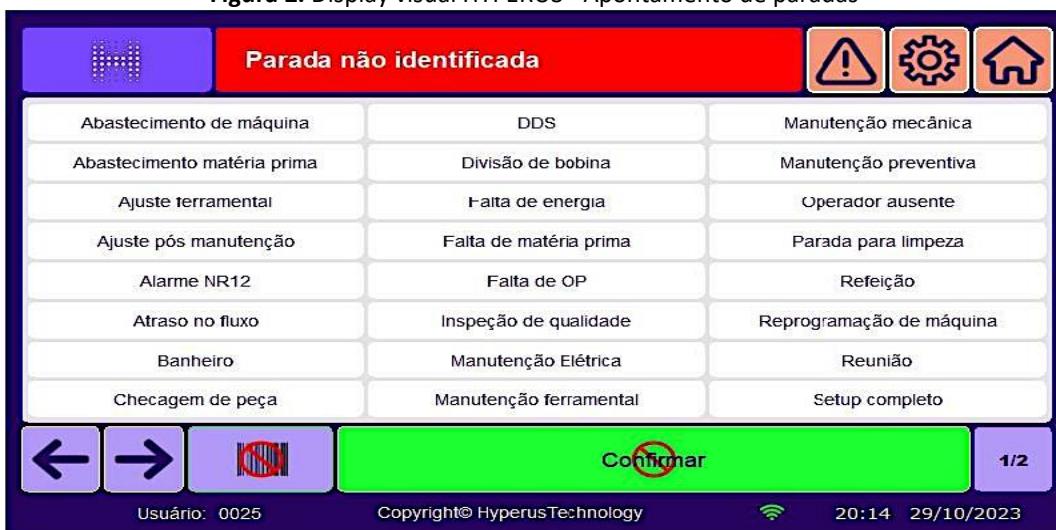
Para monitorar e otimizar o desempenho da máquina de corte longitudinal, a empresa em estudo implementou o sistema IHM HYPERUS, que fornece uma interface intuitiva que facilita a coleta de dados operacionais da máquina. Este sistema permite o acompanhamento em tempo real dos tempos de produção, velocidades de corte, quantidade produzida, total de perdas, e diversos outros dados utilizados para criar indicadores-chave de desempenho (KPIs), como os de disponibilidade, desempenho e qualidade, empregados no cálculo do OEE (Tau et al., 2023).

A coleta de dados, contemplou turnos de oito horas de trabalho e para a primeira campanha de amostragem foi realizada entre os dias 5 e 31 de março de 2025. Adicionalmente, foram realizadas cinco visitas presenciais à fábrica nos dias 5, 10, 17, 24 e 31, com o objetivo de compreender e monitorar o processo de produção do equipamento em estudo, a linha de corte longitudinal *Slitter* - DIVIMEC. A segunda campanha foi realizada nos dias 22 e 28 de abril, 12 e 30 de maio, 3 e 4 de junho e 24 de julho. Durante as visitas, os dados foram coletados tanto presencialmente, utilizando um *tablet* disponibilizado pela empresa para anotar os horários de parada e produção, quanto por meio do sistema IHM Hyperus, que faz o registro automático dos dados e permite a extração via interface *web*.

O sistema é integrado ao Controlador Lógico Programável (CLP) da máquina, que envia as informações quando a máquina se encontra parada ou em produção. Quando o sistema identifica que a máquina está parada, surge uma mensagem na tela visual no totem do operador (Figura 2), solicitando a ele que informe o motivo da parada. Quando a máquina volta a funcionar, o sistema encerra a parada e inicia a contabilização do tempo de produção.



Figura 2. Display visual HYPERUS - Apontamento de paradas



Fonte: Autores (2025).

A amostra coletada em cada dia é composta por quatro tipos de variáveis: tempos de parada, tempos de produção, velocidade média de produção e peso total produzido. Desta forma, para que o sistema HYPERUS colete corretamente os dados destes dois últimos, todos os produtos são cadastrados no sistema com seus pesos por metro e velocidades de ciclo ideal, e a partir das informações obtidas via CLP da máquina, o HYPERUS consegue identificar quantos metros a máquina rodou e a que velocidade, permitindo obter os dados de peso total produzido e velocidade média de ciclo.

A partir do momento em que o operador se registrou no sistema HYPERUS, ele já comece a registrar e coletar automaticamente os dados operacionais. Os dados ficam registrados numa página WEB do sistema, tendo acesso por uma conta vinculada a empresa, permitindo a extração posterior dos dados.

Compõem ainda essa etapa de coleta e análise de dados ferramentas como o *brainstorming*, que é uma metodologia colaborativa que estimula a inovação por meio da geração livre e estruturada de propostas. Conforme apresentado pelo Sebrae (2023), essa técnica promove um ambiente sem críticas, incentiva o surgimento de uma grande variedade de ideias e agrupa sugestões similares para facilitar a escolha da solução mais adequada. Neste trabalho, o *brainstorming* foi o método utilizado para discussão e apontamento das causas das perdas identificadas no gráfico de Pareto. A partir do *brainstorming*, foi possível estruturar o diagrama de Ishikawa com base nas contribuições dos funcionários da empresa estudada, consolidando visualmente as principais raízes dos problemas e favorecendo a definição de propostas de melhoria.

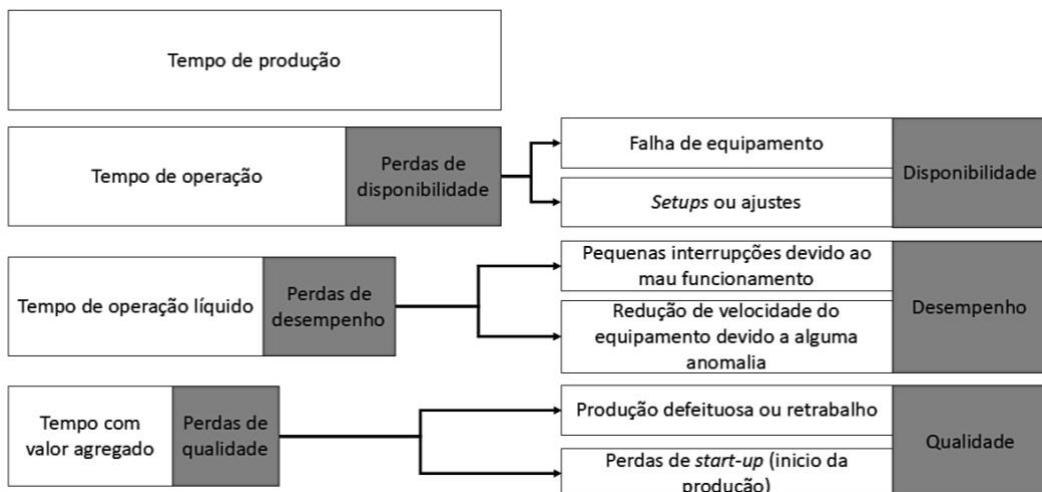
Para o processamento e tratamento dos dados, utilizou-se o Google Planilhas. Os dados coletados manualmente foram inseridos nas planilhas, enquanto os dados extraídos do sistema IHM foram carregados em planilhas separadas. Em seguida, procedeu-se à comparação entre os dados presenciais e os do sistema, verificando e confirmando a correspondência entre ambos.

Quanto aos aspectos éticos, não foram coletadas informações pessoais ou identificáveis sobre colaboradores ou participantes. O nome dos participantes e da empresa foi mantido em sigilo. Os dados foram tratados de forma agregada, armazenados em planilhas protegidas e utilizados exclusivamente para os cálculos de eficiência do equipamento.

EFICIÊNCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO (OEE)

Um dos principais objetivos dos projetos que envolvem o OEE e a TPM é abordar as seis grandes perdas, que são as causas mais comuns de perda de eficiência industrial. Busso e Miyake (2013), Martins e Laugeni (2015) e Abdullah et al. (2025), descrevem as conexões entre as seis grandes perdas e as categorias de perda do OEE (Figura 3).

Figura 3. Definição das componentes do OEE



Fonte: Adaptado de Busso & Miyake (2013)

Analizando a Figura 3, segundo Busso e Miyake (2013), o OEE pode ser compreendido como a relação entre o tempo efetivamente dedicado à produção e o tempo total disponível, descontando-se as perdas associadas à disponibilidade, desempenho e qualidade. Martins e Laugeni (2015) complementam essa visão ao descreverem o OEE como o produto entre esses três índices, onde a disponibilidade reflete o tempo em que o equipamento está efetivamente disponível para produção, descontadas as paradas não programadas, como quebras e ajustes (*setups*); o desempenho avalia a eficiência do equipamento durante esse tempo disponível, considerando as perdas por pequenas paradas e baixa velocidade; e a qualidade mensura a proporção de itens produzidos que atendem aos padrões estabelecidos, descontadas as perdas por defeitos e falhas no início da produção. Busso e Miyake (2013) destacam que o OEE seja adaptado ao contexto do que deve ser medido.

Assim, dando continuidade ao cálculo da OEE e de suas componentes, tem-se a Equação (1) para disponibilidade, Equação (2) para o desempenho, a Equação (3) para a qualidade e a Equação (4) para a OEE, conforme adaptado dos estudos de Martins e Laugeni (2015) e Ribeiro et al. (2019).

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Tempo programado}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, *Tempo de operação* é o tempo disponível para produzir, menos as perdas por quebras, ajustes e *setups*; *Tempo programado* é a disponibilidade possível menos as paradas programadas.

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Quantidade produzida}}{\text{Quantidade ideal}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde, *Quantidade produzida* é o total de metros cortados durante o tempo de operação; a *Quantidade ideal* é o produto do tempo de operação pela velocidade ideal. Por sua vez, o *Tempo de operação* é o tempo em que a máquina esteve efetivamente produzindo (em minutos) e a *Velocidade ideal* é a velocidade máxima de corte esperada para a máquina (em m/min).

$$Qualidade = \frac{Peso\ produzido}{Peso\ inicial} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde, *Peso produzido* é o peso da bobina menos o peso do refilo; *Peso inicial* é o peso da bobina. Assim, para o cálculo do OEE, tem-se a multiplicação entre as três componentes.

$$OEE = Disponibilidade \times Desempenho \times Qualidade \quad \text{Equação (4)}$$

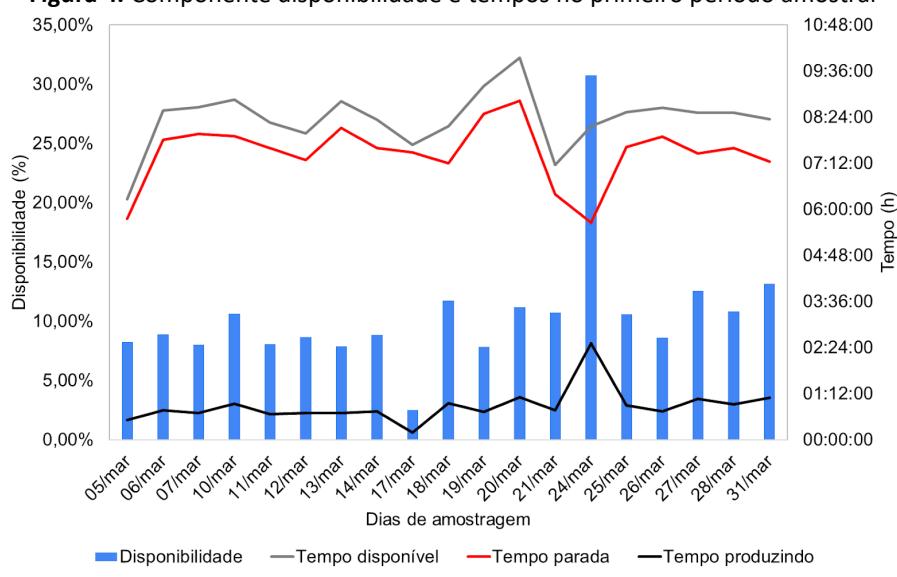
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados e utilizando as premissas da Figura 3 e as Equações (1), (2), (3) e (4), iniciou-se o cálculo das componentes da OEE para a primeira campanha de coleta de dados. A Figura 4 mostra a componente disponibilidade e os tempos utilizados para o seu cálculo. Quando comparada ao valor de referência global para disponibilidade de equipamentos de 90% (Nakajima, 1988), a média registrada neste estudo foi de 10,54%, sendo inferior.

Nota-se que, no dia 24/03, a componente disponibilidade atingiu um valor igual a 30,73%, aproximadamente três vezes superior à média do período (10,54%). Ao se verificar registros sobre o processo produtivo neste dia, constatou-se que foi executada apenas uma ordem de produção, com uma bobina mãe subdividida em bobinas menores por cortes transversais, sendo necessário apenas um *setup* e limitando as paradas para o cintamento das bobinas.

Em contraste, o menor índice de disponibilidade (2,50%) ocorreu no dia 17/03/25, em razão de uma quebra na máquina que exigiu manutenção corretiva por aproximadamente quatro horas, o que significa que, durante meio ciclo operacional, a máquina permaneceu parada. Em estudos semelhantes, como o de Albertin et al. (2012), verificou-se uma perda de cerca de 24% do tempo disponível devido a manutenções corretivas. Esses dados reforçam que a situação enfrentada pela empresa em estudo ocorre também em muitas indústrias onde ainda não foram implantadas práticas robustas de manutenção preventiva e planejada.

Figura 4. Componente disponibilidade e tempos no primeiro período amostral

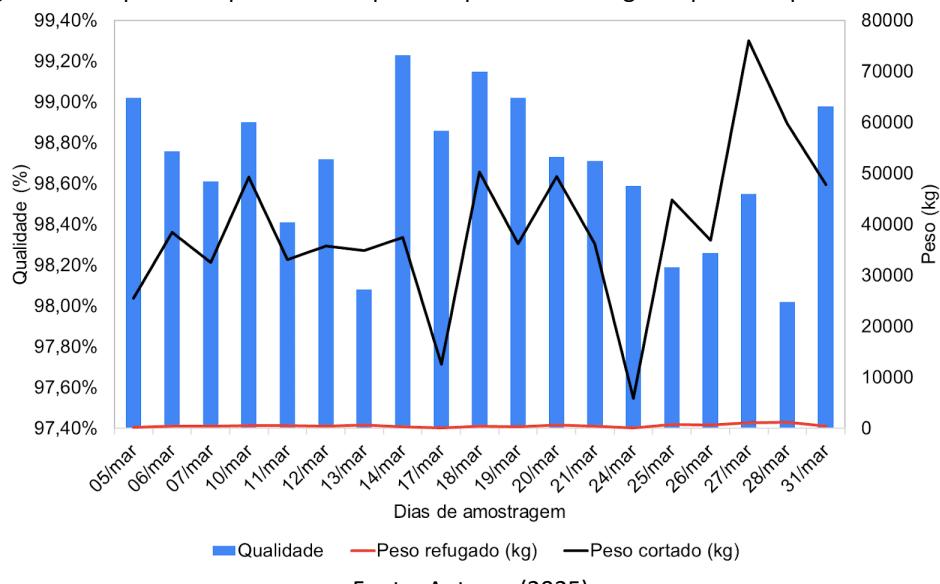


Fonte: Autores (2025).

A Figura 5 apresenta a componente qualidade e os pesos do produto e refugo no primeiro período amostral. Nota-se que apesar das variações diárias no peso cortado, a taxa de refugo apresentou pouca variação, mantendo-se em média de 1,35% do peso cortado, reflexo da política da empresa de minimizar perdas de matéria-prima. A média da componente de qualidade no período foi de 98,65%, muito próxima ao valor de referência de 99% estabelecido por Nakajima (1988). Essas perdas, principalmente as geradas por refilos, são

características do processo produtivo. De acordo com o estudo de Abreu (2017), as perdas por refugo são inerentes ao processo produtivo de corte de chapas, uma vez que a perda de certo percentual de material é inevitável para dar forma final às chapas. Assim, segundo os autores anteriormente citados, tais perdas devem ser compreendidas como parte integrante do método de produção.

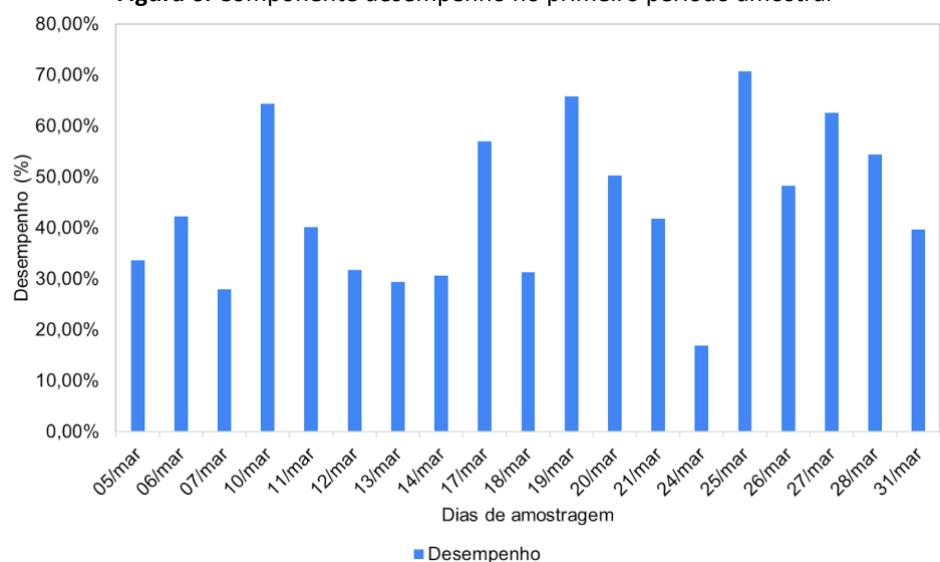
Figura 5. Componente qualidade e o peso do produto e refugo no primeiro período amostral



Fonte: Autores (2025).

A Figura 6 mostra a componente de desempenho no primeiro período amostral. Observa-se que a componente desempenho variou significativamente, com valor mínimo de 16,91% em 24/03 e pico de 70,70% em 25/03. Essa instabilidade operacional pode não ser evidente se observada apenas a média do período que foi de 44,15 %, sendo esse valor baixo quando comparado ao valor de referência de 95% (Nakajima, 1988).

Figura 6. Componente desempenho no primeiro período amostral



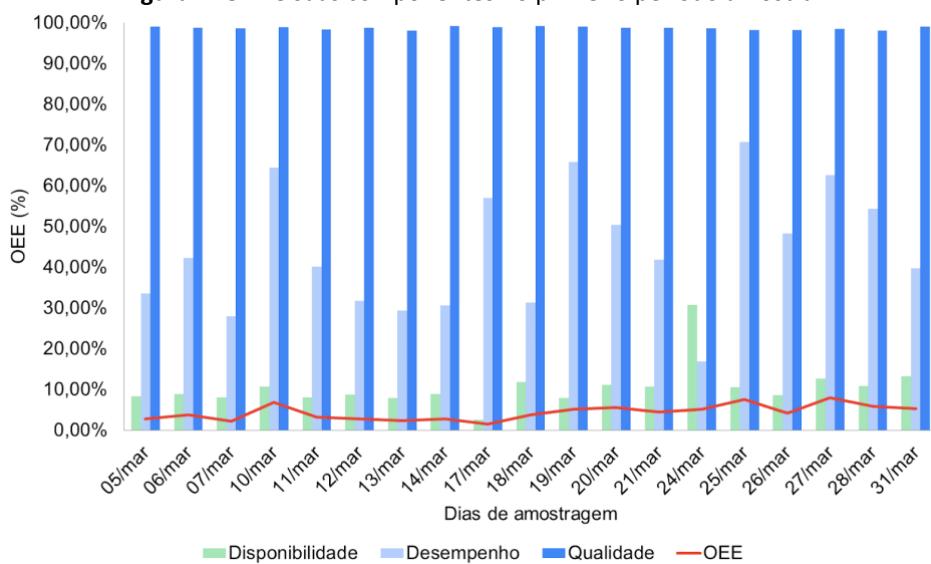
Fonte: Autores (2025).

Para o dia 24/03/25, destaca-se que o desempenho está atrelado à natureza da operação realizada no dia, momento em que uma bobina mãe foi subdividida em bobinas menores. Consequentemente, esse processo demandou uma velocidade menor de corte, diminuindo o desempenho do dia, mas em contrapartida, elevou a disponibilidade, pois a máquina ficou mais tempo em operação.

Ao analisar o dia 25/03/25, nota-se que a eficiência foi mais elevada devido ao tipo de material utilizado: bobinas a frio, diferentemente dos outros dias, quando foram cortadas bobinas a quente. Essa distinção entre os materiais é fundamentada em estudos anteriores. Segundo Possatti (2023), o corte longitudinal de bobinas laminadas a quente evidencia tensões residuais que promovem defeitos de forma, principalmente em chapas SAE-1010 (a faixa de material trabalhado na empresa situa-se entre 1008 a 1012 no equipamento alvo do estudo). Já as bobinas a frio apresentam menor tensão residual, o que favorece cortes mais precisos e planicidade superior em maior velocidade. Essas conclusões são reforçadas por Kaczmarczyk (2019), que, por meio de testes experimentais, demonstrou que, apesar da maior rigidez do aço laminado a frio, ajustes adequados na geometria da lâmina, velocidade e força de corte resultam em eficiência de corte elevada.

Com os resultados de disponibilidade, desempenho e qualidade calculados, foi possível determinar o OEE para cada dia, por meio da aplicação da Equação (4). A Figura 7 mostra o OEE e as suas componentes no primeiro período amostral analisado.

Figura 7. OEE e suas componentes no primeiro período amostral



Fonte: Autores (2025).

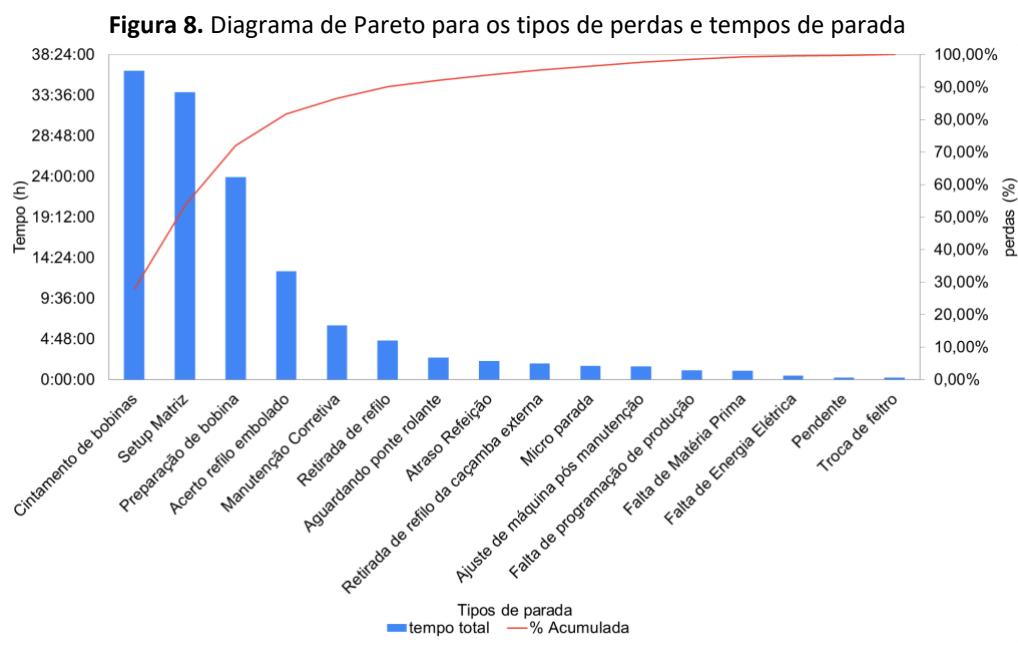
Durante a análise dos dados, observou-se que as maiores perdas de eficiência da máquina estavam relacionadas ao indicador de disponibilidade, o qual apresentou uma média de 10,54%, valor significativamente inferior aos de desempenho (44,15%) e qualidade (98,65%). Essa constatação reforça o papel da disponibilidade como principal responsável pelo baixo valor do OEE, uma vez que ela reflete diretamente o tempo em que a máquina permaneceu em operação.

Comportamento semelhante foi identificado no estudo de Mncwango e Mdunge (2023), em que os autores evidenciam que a disponibilidade é o fator-chave a ser monitorado e otimizado dentro da estrutura do OEE, por representar grande parte das perdas produtivas, muitas vezes negligenciadas. De forma semelhante, Corrales et al. (2020), em uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, destacam que a disponibilidade representa o primeiro e mais crítico dos três pilares do OEE, uma vez que determina se a máquina está apta a operar, sendo essencial para que o desempenho e a qualidade possam ser efetivamente mediados.

Conforme apontado anteriormente (Figura 7), no dia 24/03/25 verificou-se um valor atípico para a disponibilidade, que atingiu 30,73%, sendo aproximadamente três vezes maior do que a média do período. Esse aumento expressivo indicou que a máquina permaneceu em operação por um tempo muito superior ao habitual, e, portanto, seria esperado um aumento no OEE daquele dia. No entanto, ao avaliar as demais componentes do indicador, verifica-se que o desempenho apresentou um comportamento inverso, atingindo um valor quase três vezes menor (16,91%) do que a média do período (44,15%) enquanto a qualidade se manteve elevada em 98,59%. Esse contraste resultou em um OEE diário de 5,20%, próximo à média geral do período, que foi de 4,59%. Tal resultado reforça a importância de que mesmo quando a disponibilidade apresenta menor valor no presente estudo, deve-se avaliar as três componentes que compõem o OEE de forma integrada, pois o equilíbrio entre disponibilidade, desempenho e qualidade é fundamental para garantir um bom resultado global.

Com o OEE diário determinado, foi possível calcular o OEE do primeiro período amostral, resultando em 4,59%, valor abaixo do índice de referência proposto por Nakajima (1988), o qual indica um valor ideal de 85% para operações de classe mundial.

Os resultados obtidos nesta etapa foram apresentados à gerência e aos colaboradores da empresa, com o intuito de conscientizá-los sobre o impacto das perdas que ocorrem nesse processo. A partir desse momento, iniciou-se a investigação das causas do baixo valor do OEE, com foco especial na disponibilidade e no desempenho, por terem sido as componentes com a maior influência negativa sobre a eficiência global da máquina. Uma ferramenta utilizada nesta etapa foi o diagrama de Pareto (Figura 8).



Fonte: Autores (2025).

Segundo Slack et al. (2023), a análise de Pareto parte da ideia de que, geralmente, poucas causas são responsáveis pela maior parte das perdas em um processo. Trata-se de uma técnica simples e objetiva, que organiza as causas dos problemas por ordem de importância. Dessa forma, a ferramenta ajuda a destacar quais áreas merecem atenção e onde novas análises podem ser mais úteis. Ao associar a aplicação do OEE com a utilização de ferramentas da qualidade, é possível propor ações de melhoria, como destacado em Nakajima (1988).

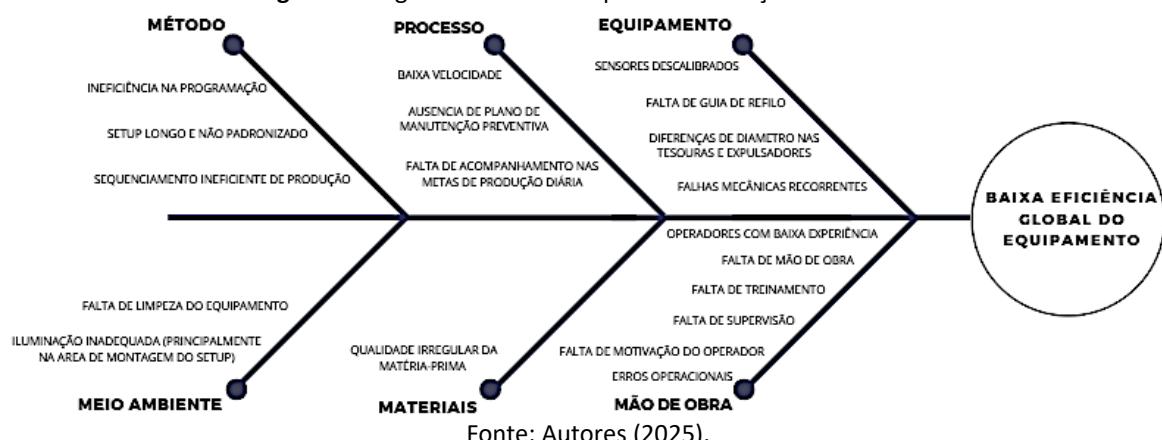
A aplicação do diagrama de Pareto, (Figura 8), se limitou às perdas causadas por paradas que impactam no tempo de produção da máquina de acordo com um *brainstorming* realizado com a equipe de gestão da produção. Quanto aos tempos de paradas, observa-se que a principal perda de tempo foi o cintamento de bobinas no rebobinador, que representou 27,82% do tempo total de parada. Essa etapa do processo consiste na amarração das bobinas cortadas, para que o material permaneça seguro para o transporte e armazenamento. No entanto, durante o período de estudo, verificou-se que essa atividade foi frequentemente prejudicada pela falta de mão de obra disponível, o que resultou em atrasos e aumento do tempo de máquina parada.

A segunda perda mais representativa foi o *setup* de matriz, responsável por 25,89% do tempo total de parada. Esse tipo de parada está diretamente relacionado ao sequenciamento da produção, uma vez que a máquina necessita de montagens específicas para atender as diferentes dimensões de corte exigidas por cada ordem de produção. Em terceiro lugar destaca-se a preparação de bobina, que correspondeu a 18,22% do tempo total de parada. Assim como o cintamento, esse processo também demanda intervenção manual e foi impactado pela limitação de recursos humanos disponíveis. Essa atividade envolve a movimentação, posicionamento e ajuste das bobinas pelo operador antes do início do corte.

A quarta maior perda foi o acerto de refil embolado, representando 9,76% do tempo total de parada. Embora o tempo individual de cada ocorrência desse problema não fosse elevado, o tempo total indica um grande volume de ocorrências da situação ao longo do período analisado, o que indica um problema de alta frequência, possivelmente associado a instabilidades no processo de corte, ajustes inadequados na configuração da máquina ou até mesmo condições do material que favorecem o embolamento dos resíduos de refil. Somadas, essas quatro principais causas de parada foram responsáveis por 81,70% do tempo total de inatividade da máquina, o que reforça a utilização da análise de Pareto como ferramenta de priorização. A partir desses resultados, foi possível direcionar as propostas de melhoria, concentrando esforços nas causas com maior impacto sobre a eficiência global do equipamento.

A partir da identificação das perdas mais relevantes, foi possível aprofundar a investigação por meio do Diagrama de Ishikawa, que possibilitou uma análise mais aprofundada das causas-raiz dos problemas identificados. As causas foram organizadas em categorias, como: Método, Mão de Obra, Equipamento, Meio Ambiente, Materiais e Processo, facilitando a identificação de pontos críticos que merecem atenção (Figura 9).

Figura 9. Diagrama de Ishikawa para identificação das causas



Fonte: Autores (2025).

A análise dos problemas foi efetuada com apoio dos operadores e da gestão do setor, em uma reunião no dia 09/05/2025, onde foram apontadas possíveis causas para as perdas identificadas no diagrama de Pareto por meio de um *brainstorming*, e definiu-se melhorias de longo, médio e curto prazo que poderiam ser implementadas no processo produtivo. Segundo Garcia (2025), essas sessões, se bem conduzidas, fortalecem a coesão do grupo, incentivam o engajamento dos participantes e favorecem a construção coletiva de soluções eficazes. Com as melhorias sugeridas no longo, médio e curto prazo, a empresa poderá se planejar para a implementação a partir da participação de diferentes setores como o planejamento e controle da produção (PCP), os recursos humanos e o financeiro (Barbosa & Feroni, 2023).

Como melhorias de longo prazo foram propostas ações de maior investimento e impacto estrutural, que exigem planejamento estratégico e podem demandar mudanças significativas em processos e tecnologias. Essas melhorias contemplam as categorias materiais, meio ambiente e método. Ações como instalação de novos refletores para os galpões, implementação de *softwares* integrados de planejamento de produção e desenvolvimento de contratos de fornecimento para melhor qualidade de materiais, seriam algumas ações de cunho estratégico.

Como melhorias de médio prazo foram feitas propostas que requerem planejamento mais estruturado, pequenas modificações e padronizações. Essas melhorias contemplam as categorias equipamento, processo e mão de obra e abrangem as causas apontadas como ausência de plano de manutenção preventiva, falta de acompanhamento de metas diárias, e as faltas de treinamento, supervisão, experiência e mão de obra.

Ações como implantação de indicadores visuais de metas diárias, programa de treinamento técnico regular, rodadas de supervisão, treinamento multifuncionalidade de operadores e criação de cronograma de manutenção, são propostas que podem trazer melhorias notáveis principalmente as componentes de disponibilidade e desempenho, que são diretamente impactadas pelos problemas de mão de obra, interrupções repentinas por quebra, baixa velocidade da produção e muitas horas perdidas no *setup*, alvos dessas ações. Negro et al. (2020) mostram em seu estudo que com a otimização da utilização da mão de obra com a redução de movimentação e a preparação de *setup* de forma simultânea à produção, pela implementação de novos equipamentos foi possível aumentar a componente disponibilidade de 59,9% para 81,8%, melhorando assim o OEE de 57,8% para 80,2%.

Complementarmente, reconhecendo a importância do engajamento humano no desempenho operacional, propõem-se também melhorias de cunho motivacional e financeiro voltadas aos colaboradores. A motivação orientada por metas foi estudada desde Clark L. Hull (1932), que documentou o efeito do gradiente da meta, ou seja, que a motivação aumenta à medida que se aproxima do objetivo, e formulou que o comportamento é função de fatores como hábito, impulso, estímulo e incentivo. Esse *insight* foi corroborado por pesquisas de Kivetz et al. (2006) e Camilleri et al. (2020), que destacam que o senso de progresso, mesmo que ilusório, estimula o engajamento, especialmente quando há recompensas vinculadas à conclusão de metas. Nesse contexto, Cossa (2024) conceitua a motivação como a energia necessária para que os colaboradores sejam mais produtivos e satisfeitos em seu ambiente de trabalho, e enfatiza que um sistema de incentivos financeiros exerce influência significativa sobre essa motivação.

Ainda como proposta de médio prazo, foram agendadas visitas técnicas à fábrica com o fabricante do equipamento em estudo, a fim de se inspecionar o processo. Adicionalmente, está sendo examinada a funcionalidade de um sistema já instalado, aplicado para centralizar automaticamente a bobina. Esse sistema, que inclui um sensor de bordas, foi adquirido para manter a bobina devidamente alinhada durante o processo. Contudo, atualmente ele não opera conforme o esperado, pois apresenta um atraso no tempo de resposta. O sensor detecta a variação na largura da bobina, mas só efetua o ajuste após a borda já ter se deslocado novamente, tornando a centralização ineficaz. Será necessário discutir com o fabricante possíveis calibrações, ajustes ou substituições para garantir seu funcionamento adequado.

Contratou-se também uma visita técnica da equipe especializada da empresa responsável pelas tesouras rotativas. Durante essa visita, no dia 10/07/25, os técnicos forneceram treinamento prático e orientações à equipe de colaboradores, abordando tópicos como otimização do *setup*, ajustes operacionais, montagem, manuseio e manutenção correta dos equipamentos. Além disso, foi disponibilizada documentação técnica com o objetivo de padronizar o processo e melhorar a consistência das operações. Espera-se que essa ação possa contribuir com o melhor resultado do OEE no médio prazo.

Como proposta de melhorias de curto prazo, buscou-se focar na redução das paradas mais frequentes e no aumento da disponibilidade do equipamento. Essas melhorias foram implementadas ao longo de sete dias configurando o segundo período de amostragem, visando testar e validar as ações propostas. Por questões operacionais, não foi possível implementar todas as melhorias sugeridas simultaneamente. Assim, a discussão dessa etapa é realizada de forma a destacar a melhoria aplicada (ou uma combinação de duas delas) e o efeito nas componentes do OEE.

Foi identificado que, três dos quatro principais motivos de parada analisados pelo diagrama de Pareto, sendo eles o cintamento de bobinas, *setup* de matriz e preparação de bobina, estavam diretamente relacionados à disponibilidade e eficiência da mão de obra com *setup* longos e não padronizados. Para mitigar os tempos de parada decorrentes de atividades de cintamento e preparação de bobinas e *setup* de matriz, foi definida uma ação de curto prazo com o objetivo de ganhos rápidos e de baixo custo, assim, foi alocado um ajudante adicional na máquina em estudo em um dos dias de amostragem. Esse colaborador já possuía treinamento prévio na operação, o que eliminou a necessidade de treinamentos adicionais durante o período de implementação das melhorias.

O ajudante adicional ficou encarregado especialmente das etapas de cintamento das bobinas, operando em conjunto com o ajudante já alocado para essa função e resultando em uma melhor divisão das tarefas, consequentemente definindo melhor a função de cada um dos colaboradores que trabalham na máquina em questão.

Essa mudança proporcionou uma queda no tempo médio necessário para o cintamento de 29 minutos para 17 minutos, representando uma redução de aproximadamente 41% nesse processo. Na preparação das bobinas, os tempos caíram de 17 minutos para 14 minutos, ficando próxima a 18% de redução. Por fim, a atividade de *setup* de matriz teve uma redução de 17 minutos (38%), e passou de uma média de 45 minutos para 28 minutos. Considerando apenas essa melhoria, a disponibilidade teve um ganho de 13,66 pontos percentuais (p.p),

assumindo um valor igual a 24,20%, o desempenho apresentou uma leve melhora de 1% e a qualidade se manteve como no primeiro período amostral, atingindo 98,58%. Este torna-se um resultado importante para o presente trabalho ao mostrar os benefícios da melhoria proposta.

Adicionalmente, para colaborar com a diminuição das paradas por *setup*, implementou-se uma melhor programação da atividade de corte das bobinas, alinhando planos de corte com *setups* semelhantes para reduzir trocas e ajustes desnecessários. Para essa etapa, houve a colaboração da equipe responsável pelo PCP da empresa. Essa programação foi observada em quatro dias do segundo período amostral, resultando em uma média de produção diária de 77 toneladas, um aumento de 97% quando comparada a média do primeiro período amostral, onde foram produzidas em média 39,1 toneladas diárias.

Considerando apenas essa melhoria, a disponibilidade teve um ganho de 10,12 pontos percentuais. De fato, observando-se a Equação (1) e ao se alterar a programação da produção, tem-se um efeito imediato no tempo de *setup* que diminui ou pode ser único para um dia de trabalho. Para as demais componentes, essa melhoria não demonstra efeito imediato, como pode ser observado pelas Equações (2) e (3). Dessa forma, a qualidade ficou em 98,73%, acima do valor encontrado no primeiro período amostral, enquanto o desempenho permaneceu próximo, com uma leve queda de menos de 1 ponto percentual.

Considerando as duas melhorias propostas implementadas simultaneamente, ou seja, um segundo ajudante e a programação do PCP, a disponibilidade teve um ganho de 13,45 p.p. chegando a 23,98% no segundo período amostral. Como comentado anteriormente, tem-se que essas duas melhorias em conjunto têm influência direta no tempo de *setup* e na componente de disponibilidade. A qualidade manteve-se alta, sendo igual a 98,77%. A componente desempenho apresentou uma redução de aproximadamente 3 p.p. Destaca-se, neste caso, que outras variáveis podem influenciar no processo de corte de cada bobina, por exemplo, a qualidade da matéria prima (bobina) pode apresentar irregularidades na largura e deformação, o que causa não conformidade na saída do refilo, com oscilações de movimento. Dessa forma, para que esse problema não ocasione o embolo do refilo a velocidade do processo é reduzida, fato que influencia diretamente na componente desempenho.

Apesar da diminuição significativa do tempo de *setup* que as melhorias de curto prazo proporcionaram, Suki et al. (2020) destacam que, para empresas com alta variedade e baixos volumes, as atividades de configuração de máquinas necessárias são regulares, o que resulta em um tempo de configuração elevado.

Com o intuito de ampliar a discussão sobre como lidar com a falta de qualidade da matéria prima que pode apresentar irregularidades, propõem-se uma melhoria focada na componente desempenho. Dessa forma, a terceira melhoria sugerida foi a instalação de uma guia para o refilo na mesa de saída da máquina, com o objetivo de direcionar a borda residual (refilo) de forma estável, reduzindo o embolo, identificado como a quarta causa mais frequente de parada, conforme o diagrama de Pareto. Considerando as seguintes melhorias propostas implementadas simultaneamente, sendo elas a programação do PCP e a instalação da guia de refilo, ao se realizar a comparação com o primeiro período amostral, a disponibilidade para este segundo momento teve um ganho de 6,0 p.p.. Esse aumento não foi tão expressivo para essa componente como nas demais melhorias devido ao elevado número

de cortes realizado na bobina (13 tiras) quando comparado com a média da primeira amostral (8 tiras), o que implicou em um tempo maior para realizar o cintamento. Ou seja, quanto mais tiras forem cortadas de uma bobina, maior será o tempo de cintamento, o que influencia na componente disponibilidade.

Para a componente desempenho registrou-se uma média de 66,53%, resultando em um aumento de 22 p.p. quando comparado ao primeiro período amostral, que registrou uma média de 44,15%. Por fim, a qualidade alcançou 98,71%, próxima ao que foi encontrado no primeiro período amostral (98,65%) (Figura 10).

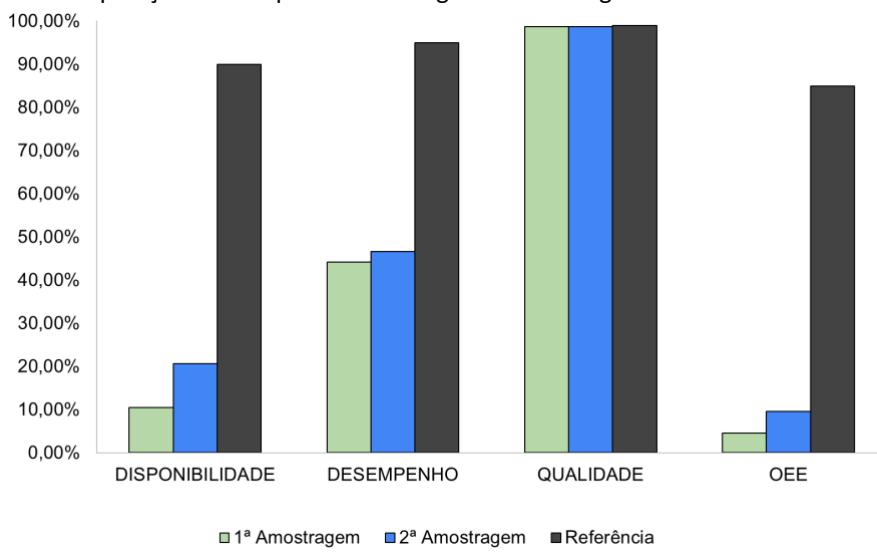
Figura 10. Instalação - antes e o depois - da instalação da guia de refil na máquina



Fonte: Autores (2025).

Após a implementação das melhorias de curto prazo, foi realizada uma nova coleta de dados, seguindo o mesmo método aplicado na primeira etapa, por conseguinte, os cálculos do OEE foram refeitos e analisados novamente, possibilitando uma comparação direta entre os resultados antes e após as intervenções.

Ao comparar os dois períodos de amostragem, (Figura 11,) nota-se que a componente com índice mais baixo, a disponibilidade, obteve um aumento significativo saindo de 10,54% para 20,70%, ou seja, uma melhoria representativa de 96,39%, embora ainda esteja abaixo da referência. O desempenho também continua abaixo do valor de referência, contudo não sofreu nenhuma mudança significativa, embora tenha ocorrido um leve aumento, de 44,15% para 46,58%, da mesma forma a componente qualidade obteve uma mudança pouco significativa de 98,65% para 98,69%, visto que para a empresa é essencial que não haja muito material refugado.

Figura 11. Comparação entre a primeira e a segunda amostragens e os valores de referência

Fonte: Autores (2025).

Dessa forma, pode-se observar que as mudanças de curto prazo surtiram efeito prático nos valores da disponibilidade, pois tiveram foco na redução dos tempos de parada. Por fim, a OEE passou de 4,59% no primeiro período amostral para 9,52% no segundo período amostral demonstrando um valor duas vezes maior. O resultado atingido aponta que a máquina ainda não alcançou sua eficiência operacional ideal, mas com a aplicação das melhorias de médio e longo prazo é esperado alcançar valores mais próximos ao de referência (85%).

O resultado da OEE encontrado no presente trabalho está alinhado com estudos encontrados na literatura acadêmica. Estudos anteriores como o de Sousa e Correr (2019) mostram que ao se reduzir os tempos de *setup* internos em cerca de 73%, houve um ganho no OEE que passou de 60% para 68%. Da mesma forma no estudo feito por Santos et. al (2020) foi verificado que após a aplicação de ferramentas para redução do tempo de *setup*, o desempenho do processo obteve melhora significativa, passando de 67% para 98%, resultando no aumento do OEE, que estava em 29% no início do estudo e chegou a 43% no mês final estudado.

Para o segundo período amostral, ainda que a melhoria tenha sido aplicada isoladamente, ou combinadas duas a duas, os dados indicam que a combinação das três melhorias propostas, sendo elas, a programação das ordens de produção pelo PCP, a alocação de um ajudante extra na operação e a instalação de uma guia para reduzir o embolo de refil, tendem a potencializar os resultados. Para estimar esse potencial, foi elaborada uma projeção teórica com base nos melhores resultados individuais observados em cada indicador: 24,20% de disponibilidade, 66,53% de desempenho e 98,85% de qualidade. Se estes níveis forem mantidos simultaneamente, a operação poderia alcançar um OEE próximo de 15,91%. Esse número representa um aumento de 246% em relação ao primeiro período amostral e de 67% sobre o segundo período amostral.

Com base na relação observada entre OEE e a produção, estima-se que com esse OEE projetado, a produção poderia atingir aproximadamente 135 toneladas por dia, mais que o triplo do volume médio produzido por dia no primeiro período amostral que foi de 39,1 toneladas e 1,7 vezes maior que no segundo período que foi de 80 toneladas. Portanto, a implementação conjunta das três melhorias apresenta-se como uma estratégia sólida para aumentar a eficiência global do equipamento e garantir uma possibilidade de planejamento de expansão para a empresa.

CONCLUSÃO

Analisou-se o indicador OEE para uma máquina de corte longitudinal de uma empresa distribuidora de aço localizada no estado do Espírito Santo, sendo que o estudo foi dividido em dois períodos amostrais, durante os quais foram coletados os dados necessários para o cálculo das componentes desempenho, disponibilidade, qualidade e por fim do indicador OEE. No primeiro período amostral, observou-se que a máquina de corte longitudinal operava com uma disponibilidade média de apenas 10,54%, o desempenho era de 44,15% e apenas a qualidade estava próxima do valor de referência mundial sendo de 98,65%. Com o valor dessas componentes foi possível encontrar um OEE de apenas 4,59%, muito abaixo do referencial sugerido pela literatura de 85%.

A partir do diagrama de Pareto, identificaram-se as principais causas de inatividade da máquina. A investigação por meio do diagrama de Ishikawa possibilitou uma análise mais aprofundada das causas-raiz dos problemas identificados. Foram realizadas intervenções de curto prazo, que resultaram em redução significativa dos tempos médios de parada.

Ao analisar todas as melhorias implementadas, sendo elas, a programação das ordens de produção pelo PCP, a alocação de um ajudante extra na operação e a instalação de uma guia para reduzir o embolo de refil, observou-se ganhos nos principais indicadores de desempenho da máquina. Após a implementação dessas ações, o OEE subiu para 9,52%. A componente disponibilidade passou para 20,70%, refletindo maior tempo efetivo de máquina em operação, especialmente nos dias em que o sequenciamento e a alocação de um segundo ajudante foram aplicados. O desempenho também apresentou crescimento, subindo para 46,58%, sendo mais expressivo nos dias em que a guia foi utilizada para reduzir embolos no refil e manter o ritmo de produção. A qualidade, que já era alta, manteve-se quase que estável, passando para 98,69%.

Por questões operacionais, as três melhorias não puderam ser colocadas em prática em conjunto no segundo período amostral. Dessa forma, o presente estudo também estimou um OEE teórico com base nos melhores resultados individuais observados em cada indicador, resultando em um OEE próximo de 15,91%. Esse valor representa um aumento de 246% em relação ao primeiro período amostral e de 67% sobre o segundo período amostral.

Os resultados de curto prazo reforçam a necessidade de implantações de políticas mais estruturadas, de médio e longo prazo, como por exemplo, maior investimento em estrutura física, manutenção planejada, capacitação contínua e uso inteligente dos indicadores. Ao consolidar essas ações na rotina produtiva e garantir a continuidade dos esforços, a empresa poderá elevar seu desempenho e ampliar sua competitividade operacional ao longo do tempo.

Apesar dos avanços alcançados, a implementação das melhorias enfrentou algumas limitações como o tempo de estudo e a falta de mão de obra disponível na fábrica. Dessa forma, considerando que o presente trabalho identificou as principais perdas relacionadas à operação do equipamento, sugere-se, para trabalhos futuros, a realização de novas coletas de dados da máquina após a consolidação das melhorias implementadas no presente estudo. Além disso, recomenda-se a exploração e aplicação de outras ferramentas da qualidade e metodologias de melhoria, como o ciclo PDCA para estruturar planos de ação contínuos, Diagrama de espaguete para a otimização dos deslocamentos durante as paradas e a criação de *poka-yoke* para evitar falhas de execução. Sugere-se ainda, ferramentas voltadas para a redução de tempos de *setup*, uma vez que em função da grande variedade de produção, as trocas de *setup* são regulares, dessa forma, ferramentas como o *Single Minute Exchange of Die* - SMED, podem ser essenciais para otimização da produção, reduzindo paradas que são inevitáveis.

REFERÊNCIAS

- Abdullah, J., Rifat, M. A. H., & Ray, A. D. (2025). Enhancing Overall Equipment Effectiveness (OEE) of a Selected Machine in a Light Manufacturing Factory in Bangladesh. *ITEGAM-JETIA*, 11(52), 179-185.
- Andrade, P. R., Patuzzo, G. V., & Cardoso, F. A. R. (2025). Gestão industrial: implementação da ferramenta TPM em uma indústria de café. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 11(1), 166-191.
- Abreu, M. B. (2017). Estudo de melhorias baseadas no sistema Lean Manufacturing e ferramentas do Total Productive Maintenance para o processo de corte de núcleo de transformador.
- Ahmad, S., & Shahwaz, S. M. (2015). Implementation of total productive maintenance in thermal power station (Barauni refinery). *International Journal of Engineering Research*, 1(3), 7-16.
- Albertin, M. R., Sampaio, C. B. P., Dias, M. J., & Feitosa, P. P. B. (2012). Aplicação da eficiência global de equipamentos com indicador de qualidade sem perdas.
- Al Hazza, M. H. F., Ali, M. Y., & Razif, N. F. B. M. (2021). Performance improvement using analytical hierarchy process and Overall Equipment Effectiveness (OEE): Case study. *Journal of Engineering Science and Technology*, 16(3), 2227-2244.
- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144-154.
- Barbosa, A. K. V., & de Cassia Feroni, R. (2023). Aplicação da Eficiência Global do Trabalhador (OLE) em Setores de uma Empresa Fabricante de Ônibus. *Revista FSA*, 20(2).
- Beraldo, J. C., & Madureira, E. M. P. (2025). Overall equipment effectiveness: uma revisão teórica. *Revista Thêma et Scientia*, 15(1), 26-44.
- Brodny, J., & Tutak, M. (2017, December). Application of elements of TPM strategy for operation analysis of mining machine. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 95, No. 4, p. 042019). IOP Publishing.
- Busso, C. M., & Miyake, D. I. (2013). Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica. *Production*, 23, 205-225.
- Camilleri, A., Danková, K., Ortiz Gomez, N., & Neelim, A. (2020). Probabilistic Rewards Increase Worker Motivation. Available at SSRN 3539871.
- Chan, F. T. S., Lau, H. C. W., Ip, R. W. L., Chan, H. K., & Kong, S. (2005). Implementation of total productive maintenance: A case study. *International journal of production economics*, 95(1), 71-94.
- Corrales, L. D. C. N., Lambán, M. P., Hernandez Korner, M. E., & Royo, J. (2020). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied sciences*, 10(18), 6469.
- Cossa, A. E. (2024). O papel dos incentivos financeiros para a motivação dos recursos humanos: o caso da Empresa Ferro & Aço-Iron and Steel Mz, Lda, entre 2014 e 2020.
- Dias, F. A., Hermosilla, J. L. G., Corvello, F. M., Barbalho, S. C. M., & da Silva, E. C. C. (2021). Aplicação do Overall Equipment Effectiveness (OEE) em uma indústria do ramo alimentício localizada no Interior do Estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 121344-121361.
- Divimec. (n.d.). Linha de corte longitudinal. <https://divimec.com.br/linha-de-corte-longitudinal/>
- Franciosi, C., Di Pasquale, V., Iannone, R., & Miranda, S. (2021). Multi-stakeholder perspectives on indicators for sustainable maintenance performance in production contexts: an exploratory study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(2), 308-330.
- Garcia, E. F. (2025). REVISÃO BIBLIOMÉTRICA SOBRE: BRAINSTORMING. *Revista Destaques Acadêmicos*, 17(1).
- Garza-Reyes, J. A., Eldridge, S., Barber, K. D., & Soriano-Meier, H. (2010). Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: A relationship analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(1), 48-62.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (Vol. 4, p. 175). São Paulo: Atlas.
- Hansen, R. C. (2006). Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros. *Porto Bookman, Alegre*.
- Hull, C. L. (1932). The goal-gradient hypothesis and maze learning. *Psychological Review*, 39-1, 25-43.
- Instituto Aço Brasil. (2025). Estatísticas da indústria do aço: Steel statistics, 1º trimestre 2025. <https://www.acobrasil.org.br/site/publicacoes/>
- Instituto Brasileiro de Mineração. (2025). Dados IBRAM. <https://ibram.org.br/publicacoes/dados-ibram/>.
- Ishikawa, K. (1976). Guide to quality control (Tradução: Asian Productivity Organization). Asian Productivity Organization.
- Kaczmarczyk, J. (2019). Modelling of guillotine cutting of a cold-rolled steel sheet. *Materials*, 12(18), 2954.
- Knop, K., & Mikulová, P. (2019). Evaluation of the level of work safety, advancement and efficiency of the use of machines and devices on labelling and packing line and an attempt to compare the results using the modified McKinsey matrix. *System Safety: Human-Technical Facility-Environment*, 1(1), 189-196.
- Ladeira, M. B., Resende, P. T. V. D., Oliveira, M. P. V. D., McCormack, K., Sousa, P. R. D., & Ferreira, R. L. (2012). Gestão de processos, indicadores analíticos e impactos sobre o desempenho competitivo em grandes e médias empresas brasileiras dos setores da indústria e de serviços. *Gestão & Produção*, 19, 389-404.

- Lima, G. R. G., Sousa, C. J., & Arese, C. M. (2020, outubro 20–23). Aplicação da metodologia DMAIC para aumento de eficiência produtiva em uma fábrica de chapas de aço [Trabalho apresentado em congresso]. XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.
- Lucantoni, L., Antomarioni, S., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2024). A rule-based machine learning methodology for the proactive improvement of OEE: A real case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(5), 1356-1376.
- Kivetz, R., Urminsky, O., & Zheng, Y. (2006). The goal-gradient hypothesis resurrected: Purchase acceleration, illusionary goal progress, and customer retention. *Journal of marketing research*, 43(1), 39-58.
- Martins, P. G., & Laugeni, F. P. (2015). Administração da produção (3^a ed.). Saraiva.
- Mineiro, M. (2020). Pesquisa de survey e amostragem: aportes teóricos elementares. *Revista de Estudos em Educação e Diversidade-REED*, 1(2), 284-306.
- Mohan, T. R., Roselyn, J. P., Uthra, R. A., Devaraj, D., & Umachandran, K. (2021). Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery. *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107267.
- Mncwango, B., & Mdunge, Z. L. (2025). Unraveling the root causes of low overall equipment effectiveness in the kit packing department: A define-measure-analyze-improve-control approach. *Processes*, 13(3), 757.
- Mwafuyomwenyo, A. T., & Ndeunyema, D. N. N. (2025). A importância da inserção de sistemas de informação para a gestão do conhecimento e tomada de decisão em microempresas. *Revista Contemporânea*, 5(4), e7906-e7906.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: total productive maintenance. (Translation). *Productivity Press, Inc.*, 1988, 129.
- Negro, J. C., do Prado, R. M., & Neto, J. M. F. A. (2020). A ferramenta OEE como auxílio para melhorias em uma indústria de autoparças: estudo de caso. *Prospectus (ISSN: 2674-8576)*, 2(2).
- Parida, A., Kumar, U., Galar, D., & Stenström, C. (2015). Performance measurement and management for maintenance: a literature review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 21(1), 2-33.
- Possatti, J. B. (2023). Estudo das causas do defeito de forma da bobina de aço SAE-1010 após corte longitudinal.
- Rasheed, R., & Rasheed, S. (2016). Advancement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) in Machining Process Industry. *International Journal For Research In Electronics & Electrical Engineering*, 2(8), 01–14. <https://doi.org/10.53555/eee.v2i8.390>.
- Ribeiro, I. M., dos Santos Salve, A., Ji, C. M., Ferreira, L. A. F., & da Hora, H. R. M. (2019). Indicador OEE e ferramentas da qualidade: uma aplicação integrada no processo de destilação de uma indústria de biotecnologia. *Exacta*, 17(2), 165-184.
- Sancheta, L. N., & de Cassia Feroni, R. (2021). Aplicação integrada da OEE com ferramentas da qualidade a uma frota de equipamentos de movimentação de resíduos industriais. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(5), 216-229.
- Santos, A., & Santos, M. J. (2007). Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura-um estudo de caso. *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu*, 1.
- Santos, R. G., Duque, T. O., Rezende, B. A., & Costa, M. F. (2020). Redução do tempo de setup e cálculo de desempenho na etapa de blistagem em uma empresa do setor farmacêutico. *Revista Gestão Industrial*, 16(2).
- Sebrae. (2023). Geração de ideias com brainstorming. https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Arquivos/ebook_serae_geracao-de-ideias-com-brainstorming.pdf.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2023). Administração da produção [Ebook]. Atlas. <https://integrada.minhabiloteca.com.br/#/books/9786559775187>.
- Sousa, J. M., & Correr, I. (2019). Benefícios da Implantação do OEE (Overall Equipment Effectiveness) em uma linha de produção de uma empresa metalúrgica.
- Suki, N. S., Bakar, E. A., Ansari, E. I., & Akhtar, M. N. (2020). Single minute exchange die approach for optimising setup time in labelling printing company. *Journal of Engineering Science*, 16(2), 35-56.
- Tau, A. L., Edoun, E. I., Mbohwa, C., & Pradhan, A. (2023). Improvement of overall equipment effectiveness through planned equipment maintenance: A case study. *Bus. Manag. Rev*, 14(3), 54-65.
- Tenório, R. S., Júnior, J. M. R., & Neto, J. M. A. (2024). Eficácia da Utilização do OEE Como Indicador de Gestão da Qualidade no Impacto do Tempo de Setup: Revisão Integrativa. *Prospectus (ISSN: 2674-8576)*, 6(1), 616-641.
- Tsarouhas, P. H. (2015). Evaluation of maintenance management through the overall equipment effectiveness of a yogurt production line in a medium-sized Italian company. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 16(3), 298-311.