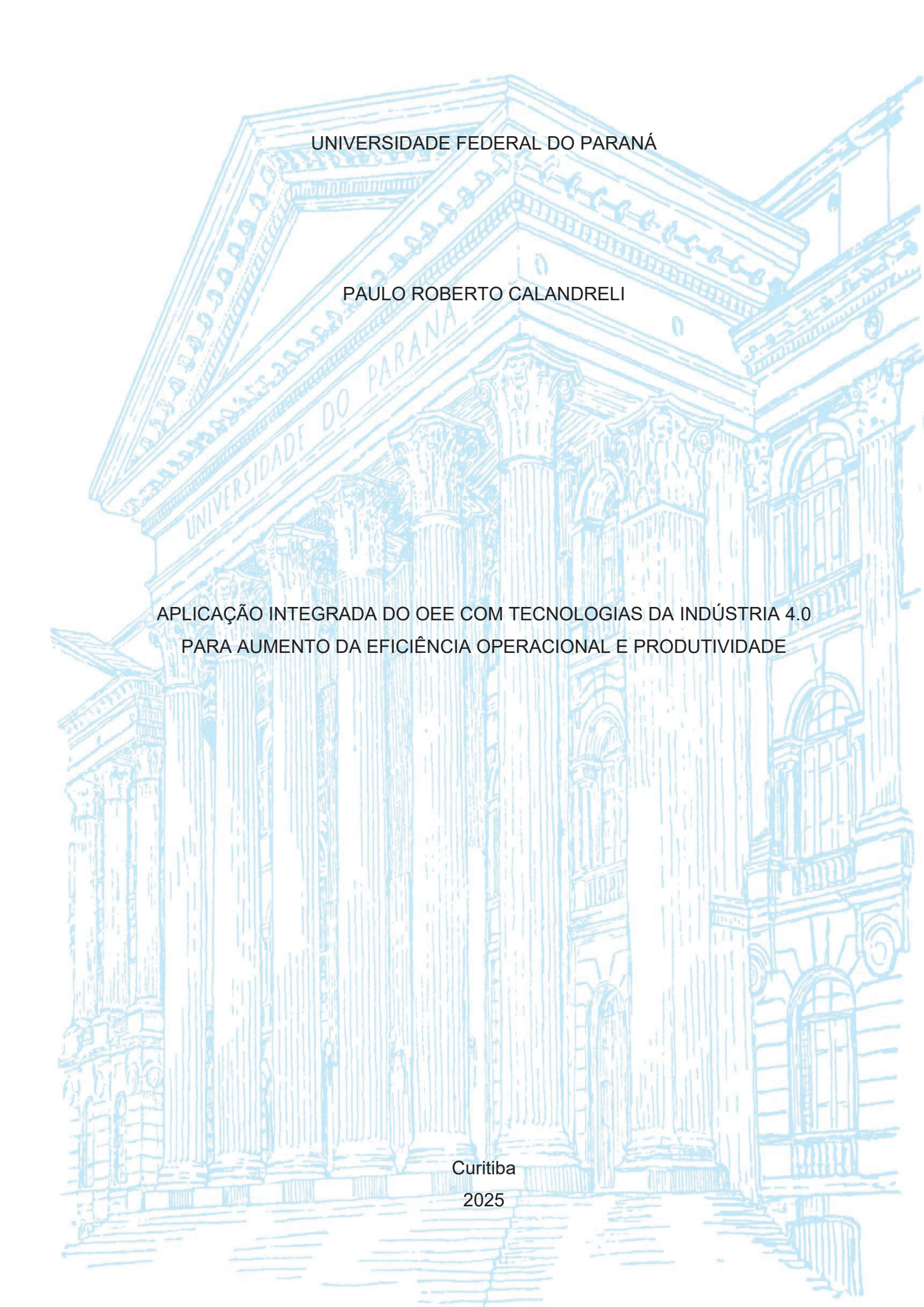




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO ROBERTO CALANDRELI

APLICAÇÃO INTEGRADA DO OEE COM TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0
PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E PRODUTIVIDADE

Curitiba
2025

PAULO ROBERTO CALANDRELI

APLICAÇÃO INTEGRADA DO OEE COM TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0
PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E PRODUTIVIDADE

Dissertação apresentada como resultado parcial à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia de
Manufatura Curso de Pós Graduação em
Engenharia Manufatura, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle.

Co-Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps.

Curitiba
2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Calandrelli, Paulo Roberto

Aplicação integrada do OEE com tecnologias da indústria 4.0 para aumento da eficiência operacional e produtividade. / Paulo Roberto Calandrelli. – Curitiba, 2025.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia Programa de Pós-graduação em Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle.

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps.

1. Indústria 4.0. 2. Eficiência global de Equipamentos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Manufatura. III. Valle, Pablo Deivid. IV. Fdeschamps, Fernando. V. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE
MANUFATURA - 40001016171P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE MANUFATURA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **PAULO ROBERTO CALANDRELI**, intitulada: **APLICAÇÃO INTEGRADA DO OEE COM TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E PRODUTIVIDADE**, sob orientação do Prof. Dr. PABLO DEIVID VALLE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 03 de Junho de 2025.

Assinatura Eletrônica
03/07/2025 18:07:00.0
PABLO DEIVID VALLE
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
03/07/2025 17:30:34.0
SERGIO EDUARDO GOUVÊA DA COSTA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
03/07/2025 17:19:39.0
MARCOS AUGUSTO MENDES MARQUES
Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO - UFPR)

Assinatura Eletrônica
03/07/2025 17:19:49.0
FERNANDO DESCHAMPS
Coordenador(a) (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
03/07/2025 17:42:11.0
MARCIO FONTANA CATAPAN
Coordenador(a) (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RESUMO

Atualmente, diante da necessidade de garantir a eficiência dos processos industriais, intensifica-se a busca por maior produtividade. Para isso, utilizam-se métricas e indicadores voltados à avaliação do desempenho, com foco na redução de custos, na adoção de processos enxutos e no aumento da competitividade das empresas. Nesse contexto, com a ampliação da aplicação dos conceitos de *Lean Manufacturing* e *World Class Manufacturing (WCM)*, destaca-se o indicador *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* como diferencial na gestão produtiva. Este estudo teve como objetivo aplicar o OEE para avaliar a performance da produção e fornecer subsídios à gestão da fábrica, de forma a direcionar a tomada de decisão. Foi realizada uma pesquisa exploratória por meio de um estudo de caso em uma empresa com processos verticalizados, onde se constatou que o uso do OEE no monitoramento em tempo real da manufatura pode potencializar os resultados, promovendo o aumento da produtividade, a redução dos custos de transformação, a melhoria dos indicadores de qualidade e a elevação do *On Time Delivery (OTD)*. Os resultados esperados estão sendo alcançados com êxito, destacando-se o aumento da produtividade desde a implantação do sistema MES e a revisão do indicador OEE. Adicionalmente, este estudo insere-se no contexto da Indústria 4.0, incorporando tecnologias habilitadoras como Internet das Coisas (IoT) e Machine Learning. A utilização de sensores conectados em tempo real e a análise inteligente dos dados coletados permitiram maior precisão no monitoramento e na previsão de falhas, além de ampliar a capacidade de resposta da operação, promovendo a tomada de decisão baseada em dados. Dessa forma, a pesquisa evidencia o potencial das tecnologias digitais para transformar a manufatura tradicional, tornando-a mais eficiente, inteligente e adaptável.

Palavras-chave: Eficiência Global; MÊS; Indústria 4.0.

ABSTRACT

Currently, due to the need to ensure the efficiency of industrial processes, the pursuit of increased productivity has intensified. To achieve this, metrics and performance indicators are employed, focusing on cost reduction, lean processes, and enhanced competitiveness. In this context, with the growing application of Lean Manufacturing and World Class Manufacturing (WCM) principles, the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator stands out as a key element in production management. This study aimed to apply OEE to evaluate production performance and provide support for factory management, thereby guiding decision-making processes. An exploratory research was conducted through a case study in a vertically integrated company. It was found that using OEE for real-time monitoring of manufacturing operations can enhance results by increasing productivity, reducing transformation costs, improving quality indicators, and raising *On Time Delivery* (OTD) rates. The expected results are being successfully achieved, particularly the increase in productivity since the implementation of the Manufacturing Execution System (MES) and the reassessment of the OEE indicator. Additionally, this study is aligned with the principles of Industry 4.0, incorporating enabling technologies such as the Internet of Things (IoT) and Machine Learning. The use of connected sensors and real-time data analysis enabled more accurate monitoring and predictive failure detection, enhancing operational responsiveness and enabling data-driven decision-making. Thus, the research highlights the potential of digital technologies to transform traditional manufacturing into a more efficient, intelligent, and adaptable system.

Keywords: Global efficiency; MES; Industry 4.0.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Medição de OEE dos equipamentos.....	11
FIGURA 2 - Produtividade comparativo anos 2021 / 2022.....	15
FIGURA 3 - Índices de OEE.....	16
FIGURA 4 - Classificação do resultado do OEE.....	16
FIGURA 5 - Estrutura das 6 perdas de tempo observadas no indicador de OEE ...	17
FIGURA 6 - Fórmulas para calcular o Oee.....	17
FIGURA 7 - Topologia MES	21
FIGURA 8 - Comunicação ERP e MES.....	22
FIGURA 9 - Benefícios da Indústria 4.0	23
FIGURA 10 - Evolução OEE 2022.....	26
FIGURA 11 - Medição de OEE dos equipamentos.....	26
FIGURA 12 - Mapeamento de fluxo de valor.....	27
FIGURA 13 - Diagnostico Cultural Acatech.....	28
FIGURA 14 - Hoshi Kanri Planejamento estratégico.....	29
FIGURA 15 - Ponto de apontamento produtivo	30
FIGURA 16 - BI para apontamento Manual.....	31
FIGURA 17 - Apontamento Manual para geração do OEE	31
FIGURA 18 - Avaliação qualitativa dos fornecedores.....	32
FIGURA 19 - Aderência dos fornecedores	33
FIGURA 20 - Distribuição de CLPs por fabricante nas unidades fabris.....	37
FIGURA 21 - Protocolos de comunicação identificados por unidade fabril	38
FIGURA 22 - Arquitetura proposta para integração entre CLPs e o sistema MES....	38
FIGURA 23 - Equipamento Selecionados	39
FIGURA 24 - Topologia MES do Projeto	40
FIGURA 25 - Monitoramento de variáveis de processo	41
FIGURA 26 - Geração de carta de controle de processo	42
FIGURA 27 - Monitoramento de variáveis de processo	42
FIGURA 28 - Andon digital integrado ao sistema MES	43
FIGURA 29 - Evolução de Oee por Fábrica	44
FIGURA 30 - Evolução da produtividade com aplicação da Indústria 4.0	45
FIGURA 31 - Evolução anual do OEE em comparação à meta	45

FIGURA 32 - Monitoramento em tempo real da produtividade.....	46
---	----

LISTA DE SIGLAS

ERP	Enterprise Resource Planning
MÊS	Manufacturing Execution System
STP	Sistema Toyota de Produção
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
TPM	Manutenção Produtiva Total
OEE	Overall Equipment Effectiveness
SMED	Single Minute Exchange of Dies
IROG	Índice de Rendimento Operacional Global
CLP	Controlador Lógico Programável
ESG Governança)	Environmental, Social and Governance (Ambiental, Social e
OTD	On Time Delivery

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3. OBJETIVO DO TRABALHO	13
1.4. JUSTIFICATIVA	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 EFICÁCIA GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS	15
2.1.1 Utilização do OEE em células de manufatura	18
2.2 SISTEMA MES	18
2.2.1 As principais vantagens do MES para manufatura	18
2.2.2 Topologia MES	20
2.3 INDÚSTRIA 4.0	22
2.4 GUIA DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE ACATECH	23
2.5 HOSHIN KANRI	24
2.5.1 Hoshin Kanri para Projetos	24
3. METODOLOGIA	25
3.1. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO	26
4. DESENVOLVIMENTO	27
4.1 DIAGNÓSTICO	28
4.2 PLANEJAMENTO DA SOLUÇÃO	29
4.2.1 Coleta e Análise de Dados OEE atual	30
4.3 ESCOLHA TECNOLÓGICA	32
4.3.1 Avaliação corporativa	32
4.3.2 Premissas para escolha MES dos 9 equipamentos	34
4.3.3 Servidor de Dados	34

4.3.4 Servidor de Aplicação.....	35
4.3.5 Servidor de Serviços	35
4.4.0 Implementação	36
4.4.1 9 equipamentos escolhidos	39
4.4.2 Módulos que foram habilitados nas máquinas	39
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
5.1 MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DE PROCESSO	41
5.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS DO OEE	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão tratadas as informações iniciais que delinearão esta qualificação, tais como a apresentação do problema a ser tratado, os objetivos a serem alcançados.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento da competitividade com paradigma da análise de produção pela análise das operações que compõe um processo produtivo tornou-se ultrapassado. De acordo com este paradigma o processo produtivo era visto com um somatório de operações. Dessa forma, melhorar uma operação significava, automaticamente, melhorar o processo como um todo. Nesse contexto, com o aumento da competitividade no mercado em qual a empresa está inserida, há uma necessidade de aplicar abordagens mais eficientes para tomar decisões inteligentes, visando otimizar diversos processos de produção para reduzir os custos nas fábricas (MOHAMED; AL-JAROODI; LAZAROVA-MOLNAR, 2019). Um problema comum nas fábricas tradicionais é a falta de rastreabilidade completa do produto e a falta de integração dos fluxos produtivos associados com os produtos. Em muitos casos, os operadores não sabem exatamente em que estágio de fabricação o produto se encontra ou onde está fisicamente localizado. Essa falta de rastreabilidade resulta em ineficiências e na ausência de conhecimento sobre quais tarefas estão realmente sendo executadas ou foram executadas na fábrica em instantes de tempo específicos (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

Para que se possa ter um acompanhamento dos processos e acompanhamento das performances produtivas e disponibilidades dos equipamentos com redução dos níveis de scrap, e perdas nos processos com aumento de eficiência. Desta forma, destaca-se a importância deste estudo, para o aumentando de produtividade. Além de monitoramento on line dos processos produtivos, que contribui em segundo plano para um pré diagnóstico de falhas nos processos. O MES traz para manufatura uma maior confiabilidade e consegue realizar uma forma de monitoramento para tomada de decisão e verificação dos parâmetros dos processos se estão sendo seguidos e tornar o processo industrial robusto.

RELATÓRIO OPERACIONAL									
Máquina	Meta Utilização	Utilização	Meta Eficiência	Eficiência	Meta Qualidade	Qualidade	Meta Produtividade	Produtividade Diária	Produtividade Acumulada
TAUT3702	85,10%	91,10%	99,00%	108,30%	99,90%	100,00%	84,16%	98,67%	98,67%
TAUT3703	85,10%	89,60%	99,00%	99,50%	99,90%	100,00%	84,16%	89,08%	89,08%
TAUT3704	85,10%	87,00%	99,00%	104,30%	99,90%	100,00%	84,16%	90,73%	90,73%
TAUT3705	85,10%	87,00%	99,00%	100,10%	99,90%	100,00%	84,16%	87,08%	87,08%
TAUT3706	85,10%	0,00%	99,00%	0,00%	99,90%	100,00%	84,16%	0,00%	0,00%
TMUF0101	75,50%	23,10%	98,80%	110,10%	99,90%	100,00%	74,52%	25,46%	25,46%
TMUF0201	75,50%	85,60%	98,80%	97,40%	99,90%	100,00%	74,52%	83,31%	83,31%
TMUF0301	75,50%	88,30%	98,80%	100,90%	99,90%	100,00%	74,52%	89,06%	89,06%
TMUF0401	75,50%	0,00%	98,80%	0,00%	99,90%	100,00%	74,52%	0,00%	0,00%
TRAN0701	69,70%	61,10%	98,20%	96,10%	99,90%	100,00%	68,38%	58,71%	58,71%
TRAN2001	72,20%	0,00%	97,00%	0,00%	99,00%	100,00%	69,33%	0,00%	0,00%
TRAN2101	75,50%	0,00%	97,00%	0,00%	99,40%	100,00%	72,80%	0,00%	0,00%
TRAN2301	70,30%	82,30%	98,85%	99,90%	99,90%	100,00%	69,42%	82,18%	82,18%
TRAN2401	78,00%	90,80%	98,80%	92,70%	99,90%	100,00%	76,99%	84,25%	84,25%
TRAN2801	78,00%	0,00%	98,80%	0,00%	99,70%	0,00%	76,83%	0,00%	0,00%
TOTAL	77,17%	69,35%	98,00%	100,02%	99,25%	100,00%	75,06%	69,37%	69,37%

Fonte: Autor (2025)

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Durante as operações industriais, observou-se uma demanda crescente por ações voltadas ao aumento da produtividade, com foco na redução de desperdícios. Contudo, tais iniciativas eram geralmente adotadas de forma reativa, especialmente diante de oscilações sazonais na demanda por produtos acabados. Em períodos de maior demanda, a planta não dispunha de carga-máquina suficiente para atender ao aumento produtivo. Um fator crítico identificado foi a baixa confiabilidade dos indicadores de produtividade, alimentados manualmente por planilhas eletrônicas (Excel). Apesar de apresentarem bons resultados nos painéis visuais, esses dados não se convertiam em aumento efetivo de produção. Essa discrepância gerava constantes questionamentos, além de atrasos, alto índice de refugo e baixa disponibilidade de equipamentos. Diante desse cenário, tornou-se necessária a modernização dos métodos de controle da performance. Como solução, adotou-se o indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), por sua capacidade de mensurar disponibilidade, performance e qualidade de forma integrada. Sua aplicação nas áreas viabilizou uma gestão mais confiável e alinhada aos princípios da Indústria 4.0.

1.3. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma metodologia para o aumento da produtividade industrial, por meio da implantação de indicadores de desempenho, com destaque para o OEE (Overall Equipment Effectiveness), monitorado por um sistema MES (Manufacturing Execution System). A proposta visa agilizar e qualificar a tomada de decisão no ambiente produtivo, tornando-a mais rápida, assertiva e baseada em dados reais.

Com a digitalização dos dados operacionais e a sua integração em uma plataforma remota, será possível gerar uma base de dados estruturada (Big Data), que permitirá análises preditivas e estratégicas. Esses dados poderão subsidiar decisões futuras relacionadas à aquisição de máquinas, otimização de processos e melhorias contínuas, alinhando-se aos pilares da Indústria 4.0 e promovendo ganhos sustentáveis de performance e produtividade.

1.3.1. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, são apresentados os seguintes objetivos específicos:

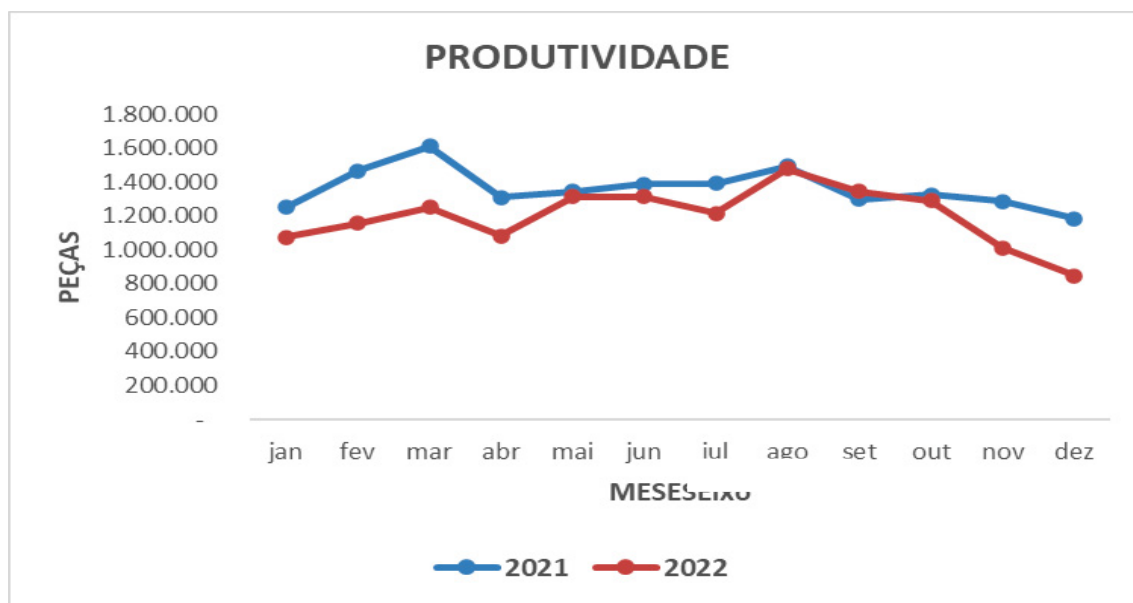
- Obtenção da arquitetura tecnológica que possa garantir o funcionamento deste sistema MES baseado em indústria 4.0;
- Proporcionar uma metodologia para o aumento de produtividade em todos os processos produtivos.
 - Desenvolver a big data.
 - Geração de heatmap
 - Centralização de informações
 - Visualização de máquinas críticas
 - Monitoramento de linhas de produção por turnos.
- Validar a metodologia proposta através dos resultados nos indicadores produtividade, custo de transformação e faturamento da empresa, OEE.

1.4. JUSTIFICATIVA

Espera-se que, ao atingir o objetivo deste trabalho, seja possível recuperar a produtividade do volume produzido, bem como atender de forma eficaz ao mix de produtos exigido pelo mercado. O estudo de caso desenvolvido visa permitir que a gestão de fábrica tome decisões mais rápidas e assertivas, com base na geração e análise de dados estruturados (Big Data), oriundos da integração entre o indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) e o sistema MES (Manufacturing Execution System).

A correta interpretação desses dados permitirá a identificação e a eliminação de desperdícios, contribuindo para um ganho de produtividade superior a 5%. Para a implementação da melhoria proposta, será necessário o envolvimento de todos os níveis da produção, iniciando-se com o treinamento e o acompanhamento dos operadores de manufatura. Também será essencial o entendimento dos KPIs de produção, especialmente o OEE, e a revisão técnica dos equipamentos, a fim de garantir a compatibilidade com o sistema MES. Além disso, a aplicação do MES proporcionará uma visão holística de todos os processos produtivos, gerando relatórios automáticos que se tornarão instrumentos estratégicos para a melhoria contínua da manufatura. Isso permitirá a transição de uma manufatura reativa para uma manufatura preditiva, baseada em dados em tempo real. No futuro próximo, espera-se consolidar uma Big Data capaz de fornecer uma visão integrada e abrangente (visão 360°) dos processos fabris, permitindo a aplicação mais assertiva dos recursos operacionais (OPEX) e de capital (CAPEX), contribuindo diretamente para o aumento da competitividade frente ao mercado.

FIGURA 2 - Produtividade comparativo anos 2021 / 2022



Fonte: Autor (2025).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será contextualizado o que está sendo tratado na bibliografia, sobre OEE, MES e conceitos de indústria 4.0 suas vantagens e tecnologias.

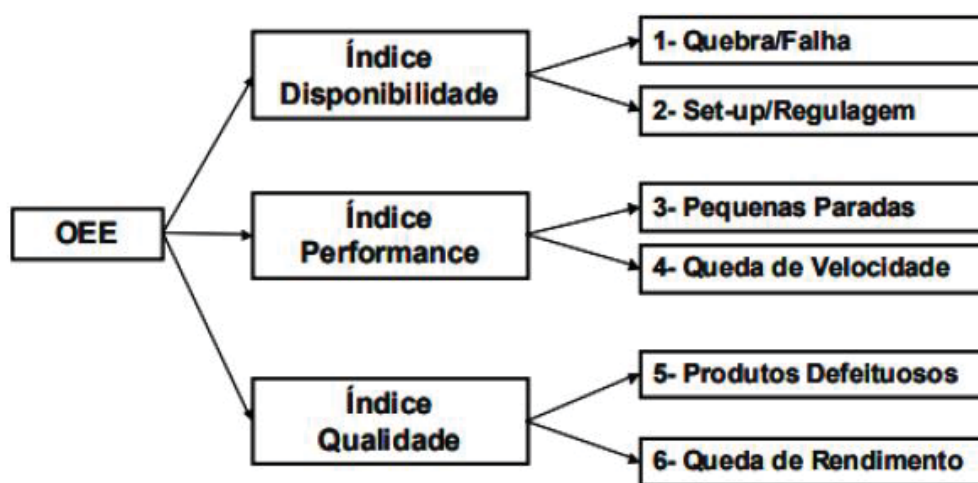
2.1 EFICÁCIA GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS

Overall Equipment Effectiveness (OEE) é um indicador capaz de medir o rendimento global de um equipamento ou processo, dando aos gestores meios de aumentar a eficiência da produção. Os sistemas MES são responsáveis pela coleta de dados de chão-de-fábrica em tempo real, através de dispositivos eletrônicos interligados aos sistemas de informação para armazenamento de dados. As principais informações transportadas do MES para o ERP seriam a respeito de jobs concluídos, consumo de estoque, atendimento às normas e requisitos, e performance de operação real (DEUEL, 1994; GIACON, 2010; ROLÓN, 2012).

O OEE foi definido e disseminado então por Nakajima (1989) como uma ferramenta para medir e aumentar eficiência e permitir a análise de perdas. A medição do OEE pode ser usada em vários níveis de uma planta industrial. Este indicador é mensurado através da estratificação das seis grandes perdas existentes nos equipamentos e calculada através do produto dos índices de Disponibilidade,

Performance e Qualidade (NAKAJIMA, 1993). Segundo o mesmo autor, o Índice de Disponibilidade (ID) representa a relação entre o tempo total disponível e o tempo efetivo em operação. O Índice de Performance (IP) representa o percentual que o equipamento produziu relativo ao tempo teórico calculado pela engenharia. Por último, o Índice de Qualidade (IQ) indica o percentual de peças boas de todas as produzidas no período de análise.

FIGURA 3 - Índices de OEE



Fonte: Adaptado Chiaradia (2004, p. 44).

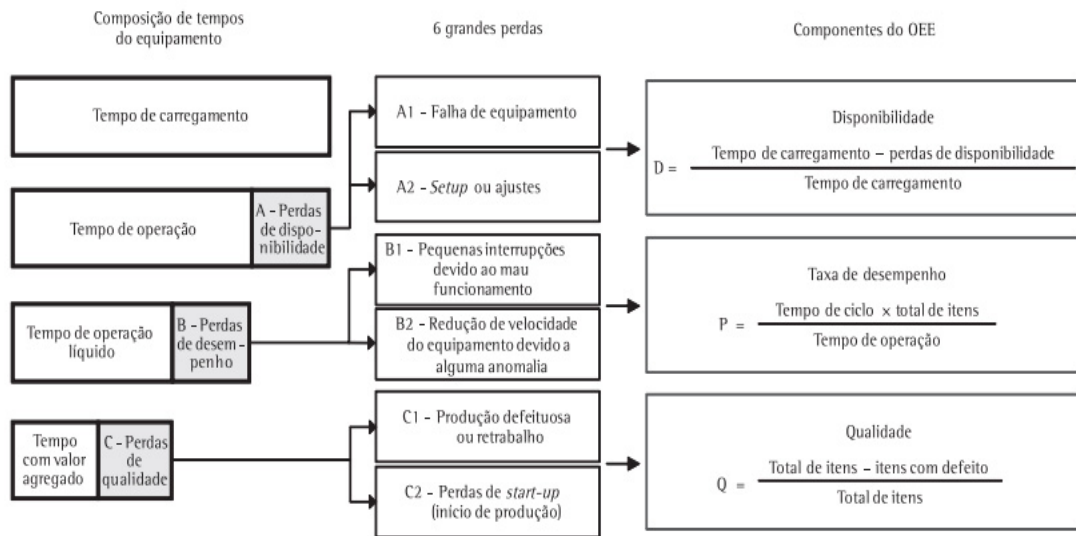
Observando-se a Figura 4 compreende-se que as perdas se referem aos índices utilizados para calcular a eficiência global, uma vez que o índice de disponibilidade compreende as perdas 1 e 2, as falhas 3 e 4 atuam na performance do equipamento, enquanto que as perdas 4 e 5 influenciam o índice qualidade (CHIARADIA, 2004).

FIGURA 4 - Classificação do resultado do OEE

Percentual	Classificação	Observação
$X < 65\%$	Inaceitável	O processo deverá sofrer mudanças urgentes
$65\% < X < 75\%$	Bom	
$75\% < X < 85\%$	Muito bom	Com potencial de ação mundial
$X > 85\%$	Excelente	Considera-se o processo equivalente ao de uma empresa de nível mundial.

Fonte: Adaptado de Hansen (2006).

FIGURA 5 - Estrutura das 6 perdas de tempo observadas no indicador de OEE



Fonte: Nachiappa; Anantharaman (2006); Braglia; Frosolini; Zammori, (2009)

De acordo com Nakajima (1993), um OEE com o percentual de 85% deve ser almejado pelas empresas, uma vez que é considerado como meta ideal para seus equipamentos. Ainda segundo o autor, para tal meta ser atingida é preciso que o índice de disponibilidade seja maior que 90%, a performance seja maior que 95% e o índice de qualidade seja maior que 99%

Estes três índices são calculados através das Equações 2, 3 e 4 e são relacionados através da Equação figura 7.

$$OEE = ID \times IP \times IQ \quad (1)$$

FIGURA 6 - Fórmulas para calcular o Oee

$$ID = \frac{(\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas})}{\text{tempo de produção planejado}} \quad (2)$$

$$IP = \frac{(\text{tempo de ciclo padrão} \times \text{quantidade de produtos processados})}{(\text{tempo de produção planejado} - \text{tempo das paradas não planejadas})} \quad (3)$$

$$IQ = \frac{(\text{quantidade de produtos processados} - \text{quantidade de produtos refugados})}{\text{quantidade de produtos processados}} \quad (4)$$

Fonte: Corrêa; Corrêa (2004).

2.1.1 Utilização do OEE em células de manufatura

A origem do OEE está relacionada ao controle da eficiência nos equipamentos e não diretamente a eficiência do sistema de manufatura (CHIARADIA, 2004). Porém, com o advento de configurações mais modernas do sistema de manufatura que visam uma maior produtividade, como o exemplo do layout celular, a utilização do OEE passa a não ser tão simples. Analisando o fator Índice de Performance (IP) no indicador OEE, verificou-se que ele utiliza o tempo de ciclo ou tempo padrão do equipamento. Isto indica um resultado do OEE em relação à capacidade do equipamento. No conceito de célula de manufatura, as máquinas são agrupadas, normalmente em forma de U ou L. Tem-se um fluxo contínuo das peças e reduz-se o estoque em processo. Como as máquinas e operações normalmente têm tempos de ciclos diferentes deve-se adotar um tempo de ciclo para o cálculo do fator eficiência. No caso da presente pesquisa e se tratando de célula de manufatura, utilizou-se o tempo de ciclo da máquina mais lenta (restrição ou gargalo) da célula, pois segundo Goldratt (1990), a produção do sistema produtivo é igual à produção do gargalo.

2.2 SISTEMA MES

O Sistema MES é uma ferramenta definida como Sistema de Execução de Manufatura ou Manufacturing Execution System, ela é utilizada no chão de fábrica, seu objetivo é realizar o apontamento dos dados de produção em tempo real, facilitando as tomadas de decisões. (ESC Conforme Maurer, Borsato e Matos (2019, p. 17) apud Vanderlei et al. (2009), inteirado por Wolf (2016), ressalta a ferramenta MES como um sistema mediador entre o ERP e a produção, assim podendo gerenciar as atividades importantes do processo e dados gerados, também facilita a interação nos apontamentos de produção BAR et al., 2015)

2.2.1 As principais vantagens do MES para manufatura

- **Melhoria da Visibilidade e Controle:** O MES fornece uma visão detalhada e em tempo real das operações de produção, permitindo que os gestores monitorem e

controlem efetivamente o andamento dos processos, a qualidade do produto e o desempenho geral da fábrica.

- **Aumento da Eficiência Operacional:** Ao automatizar tarefas manuais e gerenciar fluxos de trabalho, o MES reduz a possibilidade de erros humanos, otimiza a alocação de recursos e melhora a eficiência geral dos processos de produção.
- **Rastreabilidade e Conformidade:** O MES permite o rastreamento completo do ciclo de vida do produto, desde a matéria-prima até o produto final. Isso é crucial para garantir a qualidade, cumprir regulamentações e resolver problemas de conformidade.
- **Qualidade do Produto Aprimorada:** Com funcionalidades de monitoramento e controle de qualidade, o MES ajuda a identificar defeitos e problemas de qualidade em tempo real, permitindo intervenções rápidas e melhorando a consistência da produção.
- **Tomada de Decisões Informadas:** Com base em dados em tempo real e históricos, o MES oferece insights valiosos para tomada de decisões informadas, permitindo ajustes em tempo real e melhorias contínuas nos processos.
- **Redução de Tempo de Inatividade:** O MES permite uma manutenção mais eficaz, com programação de manutenção preventiva e preditiva. Isso reduz o tempo de inatividade não planejado e melhora a disponibilidade de máquinas e equipamentos.
- **Agilidade na Resposta ao Mercado:** Com um MES bem implementado, as operações de manufatura podem se adaptar rapidamente às mudanças na demanda do mercado, lançando novos produtos ou ajustando processos conforme necessário.
- **Otimização de Inventário:** O MES ajuda a gerenciar os níveis de estoque de matérias-primas e produtos acabados de maneira mais eficaz, evitando excesso de estoque e melhorando a gestão da cadeia de suprimentos.
- **Integração de Sistemas:** O MES atua como um elo de ligação entre sistemas de chão de fábrica (chamados de nível 0) e sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP) (chamados de nível 4), possibilitando uma colaboração mais eficaz.
- **Padronização de Processos:** O MES ajuda a estabelecer processos padronizados em toda a organização, garantindo que as operações de manufatura sejam consistentes e alinhadas aos objetivos da empresa.

Em resumo, o MES oferece uma série de vantagens que permitem às empresas melhorar a eficiência, qualidade, rastreabilidade e agilidade em suas operações de manufatura. Ele desempenha um papel fundamental na transformação digital da indústria, permitindo que as empresas enfrentem os desafios do mercado global de maneira mais eficaz.

2.2.2 Topologia MES

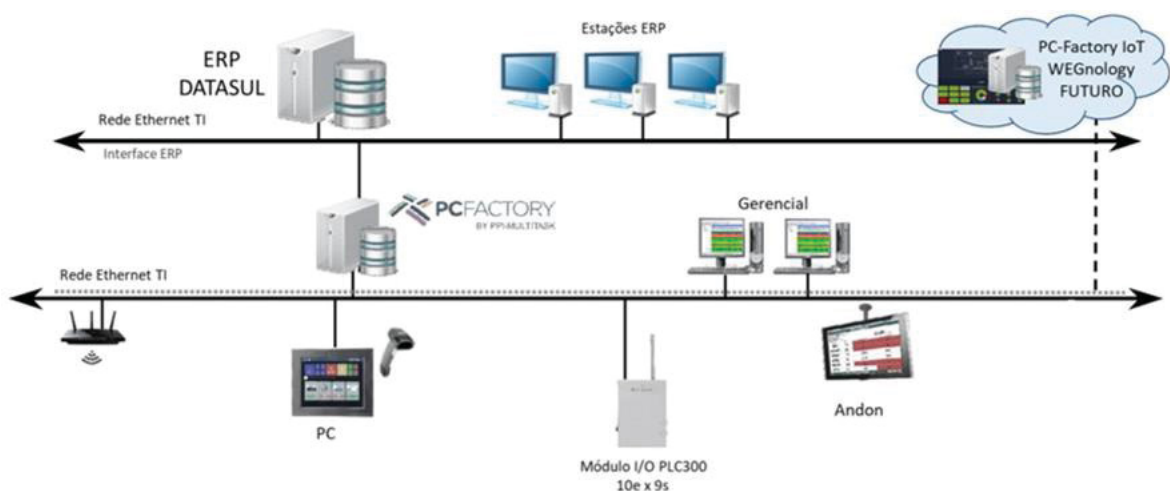
A topologia do Manufacturing Execution System (MES) refere-se à estrutura e organização dos componentes e sistemas que compõem a solução MES em uma fábrica ou ambiente de produção. A topologia pode variar dependendo das necessidades específicas da empresa e da complexidade dos processos de manufatura. Aqui estão os componentes típicos que compõem a topologia do MES:

- **Camada de Dispositivos e Sensores:** Esta é a camada mais baixa da topologia, onde os sensores e dispositivos IoT são instalados em máquinas, equipamentos e ativos de produção para coletar dados em tempo real sobre condições e desempenho.
- **Rede de Comunicação:** Uma rede de comunicação confiável, como Ethernet, Wi-Fi, Zigbee ou outras tecnologias de comunicação, é usada para conectar os dispositivos e sensores à infraestrutura de TI da fábrica.
- **Gateways e Controladores:** Em alguns casos, gateways e controladores são usados para facilitar a comunicação entre os dispositivos de chão de fábrica e a infraestrutura de TI, traduzindo protocolos de comunicação diferentes.
- **Servidores de Dados e Processamento:** Os servidores são responsáveis pelo processamento, armazenamento e gerenciamento dos dados coletados dos dispositivos IoT. Isso inclui dados de produção, controle de qualidade e outras informações relevantes.
- **Sistema MES Central:** Este é o núcleo do sistema MES, responsável por integrar e coordenar todas as atividades de manufatura. Ele coleta e processa dados, executa lógica de negócios, fornece informações em tempo real e oferece ferramentas para monitorar e gerenciar operações.

- **Interfaces de Usuário:** São as interfaces pelas quais os operadores, gerentes e outros usuários interagem com o sistema MES. Isso pode incluir painéis de controle, dashboards, aplicativos móveis e interfaces baseadas na web.
- **Integração com Sistemas Externos:** O MES geralmente precisa se integrar com outros sistemas, como sistemas ERP, sistemas de automação de fábrica, sistemas de planejamento de produção (APS) e outros sistemas de TI.
- **Segurança e Proteção:** Medidas de segurança, como firewalls, autenticação, criptografia e políticas de acesso, são essenciais para proteger os dados e os sistemas da fábrica contra ameaças cibernéticas.
- **Infraestrutura de Nuvem (Opcional):** Em alguns casos, partes do MES ou a solução inteira podem ser baseadas na nuvem para permitir escalabilidade, acesso remoto e outras vantagens da computação em nuvem.
- **Rede de Comunicação e Infraestrutura de TI:** A camada superior da topologia inclui a infraestrutura de rede e TI da fábrica que suporta a comunicação entre os componentes do MES e outros sistemas.

Os softwares MES poderiam complementar a visão de uma forma de conduzir a gestão estratégica das operações procurando atender esses objetivos seria baseá-la na visão dos recursos de produção. Esses recursos envolvem decisões como: desenvolvimento de produtos, tecnologia a ser utilizada, organização da mão de obra, planejamento da capacidade e configuração das instalações, entre outras.

FIGURA 7 - Topologia MES



Fonte: Adaptado de Sequor (2022).

FIGURA 8 - Comunicação ERP e MES



Fonte: Adaptado EZ-MES (2025).

2.3 INDÚSTRIA 4.0

Refere-se ao próximo estágio na evolução da organização e controle dos processos de manufatura. O termo Indústria 4.0 vem, na verdade, de um projeto financiado pelo governo alemão (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018), que teria sido divulgado pela primeira vez durante a Feira de Hannover de 2011 (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

Porém, a comunicação entre um produto, um trabalhador e os diferentes operadores que atuam na cadeia de valor nas fábricas tradicionais costuma ser lenta e ineficiente. Outro problema comum nas fábricas tradicionais é a falta de rastreabilidade completa do produto e a falta de integração dos fluxos produtivos associados com os produtos. Em muitos casos, os operadores não sabem exatamente em que estágio de fabricação o produto se encontra ou onde está fisicamente localizado. Essa falta de rastreabilidade resulta em ineficiências e na ausência de conhecimento sobre quais tarefas estão realmente sendo executadas ou foram executadas na fábrica em instantes de tempo específicos (FERNANDEZ-CARAMES; FRAGA-LAMAS, 2018).

As fábricas tradicionais carecem de recursos avançados de monitoramento e controle da produção automatizada, o que compromete sua capacidade de produzir de forma eficiente e lucrativa (SHI et al., 2021). Além disso, a integração entre os sistemas

de produção, o ciclo de vida dos produtos e a cadeia de valor entre diferentes empresas ainda é limitada e fragmentada (PARK, 2016), dificultando a colaboração e a otimização dos processos industriais.

Como consequência, a reutilização de sistemas e a conexão entre os sistemas físicos e suas representações virtuais, fundamentais para uma produção inteligente, permanecem deficientes na manufatura tradicional (HARRISON; VERA; AHMAD, 2016). Diante disso, torna-se evidente que os modelos convencionais de produção não estão preparados para enfrentar os desafios impostos pelas tecnologias emergentes e de rápido crescimento, como a digitalização, a inteligência artificial e a Internet das Coisas.

FIGURA 9 - Benefícios da Indústria 4.0



Fonte: Autor desconhecido (2025).

2.4 GUIA DE AVALIAÇÃO DE MATURIDADE ACATECH

O Guia de maturidade da Indústria 4.0 (Schuh et al., 2017), elaborado pela Acatech (National Academy of Science and Engineering), que é a Academia Nacional de Ciências e Engenharia, da Alemanha, pode ser considerado um modelo de avaliação de maturidade em si, mas também um guia para que as empresas compreendam o caminho que devem seguir para o desenvolvimento da Indústria 4.0,

e construam seus próprios modelos. Porque a maior parte da publicação deve ser destinada à apresentação dos resultados da pesquisa e análises. Elementos importantes e que servirão de base para as discussões que o autor encaminhará a partir dos resultados obtidos devem constar nesta seção.

2.5 HOSHIN KANRI

Técnica japonesa de gerenciamento que pode ser aplicada a projetos e ao planejamento estratégico em geral. É uma abordagem que visa alinhar as metas e objetivos da organização com as atividades diárias e os projetos em andamento. Aqui está uma explicação mais detalhada:

2.5.1 Hoshin Kanri para Projetos

- **Definição de Objetivos Estratégicos:** A organização estabelece metas e objetivos estratégicos de longo prazo que deseja alcançar.
- **Desdobramento de Objetivos:** Os objetivos estratégicos são desdobrados em metas táticas e operacionais mais específicas que devem ser atingidas para alcançar os objetivos estratégicos.
- **Identificação de Projetos:** Com base nas metas táticas e operacionais, a organização identifica projetos específicos que ajudarão a alcançar essas metas.
- **Priorização:** Os projetos são priorizados com base em sua importância para o alcance das metas estratégicas. Isso pode envolver a alocação de recursos e a definição de prazos.
- **Alocação de Recursos:** Os recursos, como pessoal, financiamento e tempo, são alocados aos projetos de acordo com suas prioridades e impacto estratégico.
- **Acompanhamento e Revisão:** Durante a execução dos projetos, eles são monitorados de perto para garantir que estejam alinhados com os objetivos estratégicos. As metas e os resultados são revisados regularmente.
- **Melhoria Contínua:** O processo de Hoshin Kanri envolve uma mentalidade de melhoria contínua, onde as lições aprendidas com a implementação de projetos são usadas para aprimorar futuras iterações do plano estratégico.

Hoshin Kanri é uma abordagem sistemática que ajuda as organizações a garantir que seus projetos estejam alinhados com seus objetivos estratégicos e que haja uma visão clara de como cada projeto contribuirá para o sucesso geral da organização. Isso ajuda a evitar dispersão de recursos e esforços em projetos que não estão alinhados com os objetivos estratégicos mais amplos.

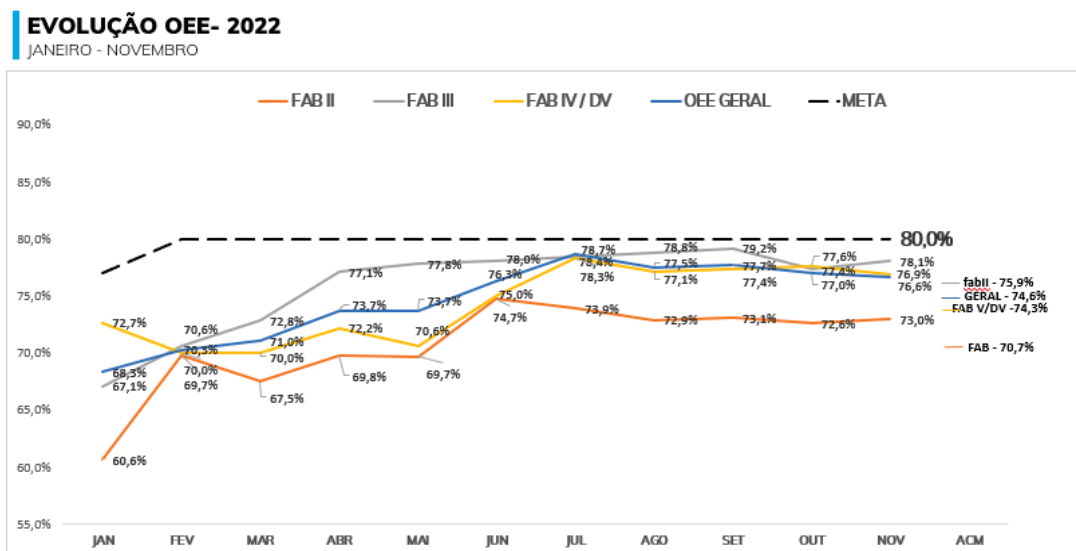
3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado a metodologia proposta através de levantamentos bibliográficos visando proporcionar um maior conhecimento teórico sobre o assunto, o estudo será realizado também através da análise qualitativa de dados levantados na empresa. Segundo Gil (2002) a pesquisa de natureza exploratória tem como objetivo criar maior familiaridade com o problema exposto, tornando mais explícito ou a constituir hipóteses.

O estudo foi realizado de com base bibliográfica no site da Capes a partir das palavras-chave MES, indústria 4.0, OEE. Foi feito acompanhamento dos gestores da empresa para entender as principais dificuldades em ter uma confiabilidade no OEE apontando pelos operadores ajuda na tomada de decisão.

Os dados para tal análise foram recolhidos dos apontamentos dos operadores da manufatura de cada fábrica, registrados nos três turnos de trabalho em seguida inseridos no sistema para a geração de gráficos de desempenho e do cálculo ponderado do OEE para a produção dos lotes de produção das 7 fábricas. Para analisar as falhas utilizou-se o formulário de monitoramento de causas especiais das máquinas disponibilizadas também pela engenharia de processos. Os dados correspondem aos registros dos anos de 2022.

FIGURA 10 - Evolução OEE 2022

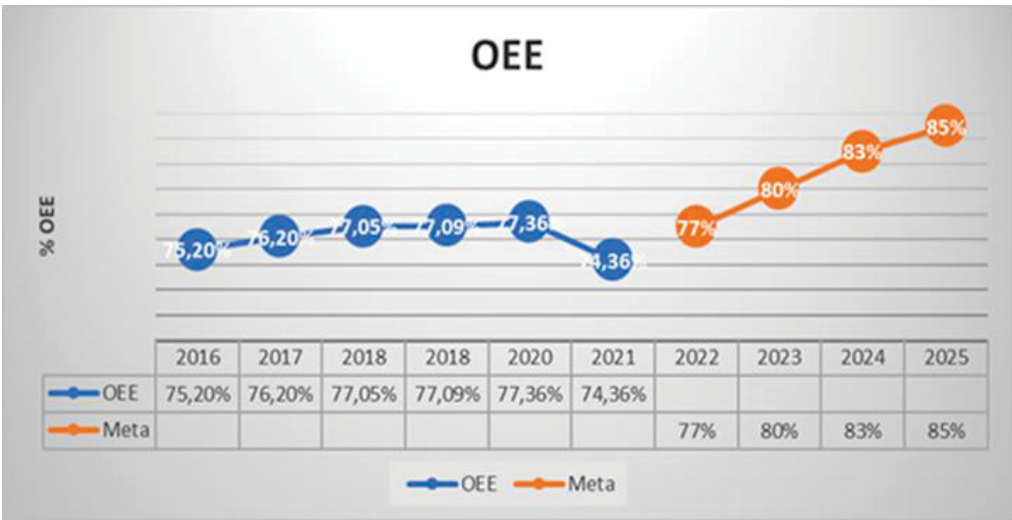


Fonte: Autor (2025)

3.1. EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO

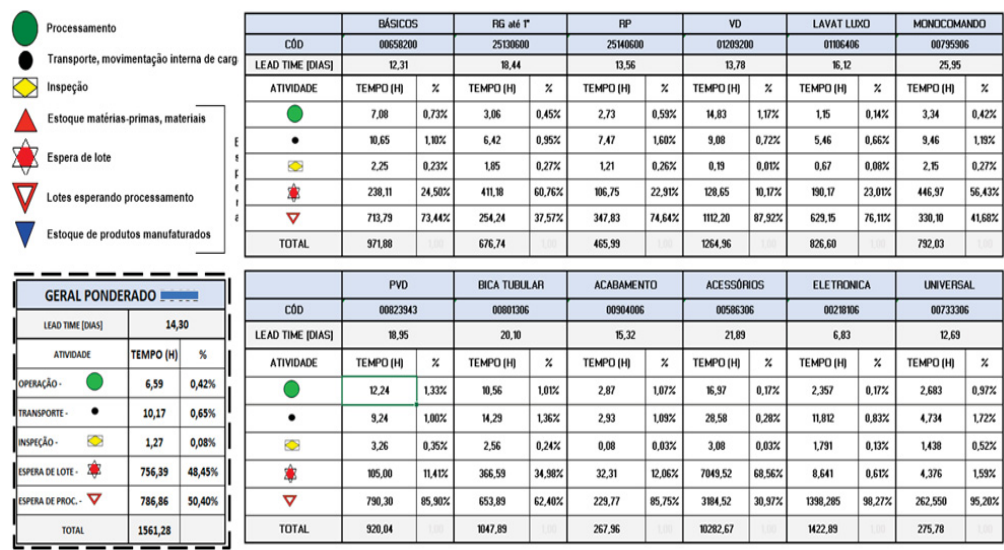
Uma vez que o OEE é calculado com foco na disponibilidade, performance e qualidade de maquinário/produto, foram coletadas as informações dispostas para tal índice, as quais estão dispostas na Tabela 3, o que culmina no OEE total de cada fábrica e a projeção para evolução necessária para o processo produtivo. Na tabela 4 com o mapeamento de fluxo de valor identificamos várias oportunidades para potencializar o OEE atual.

FIGURA 11 - Medição de OEE dos equipamentos



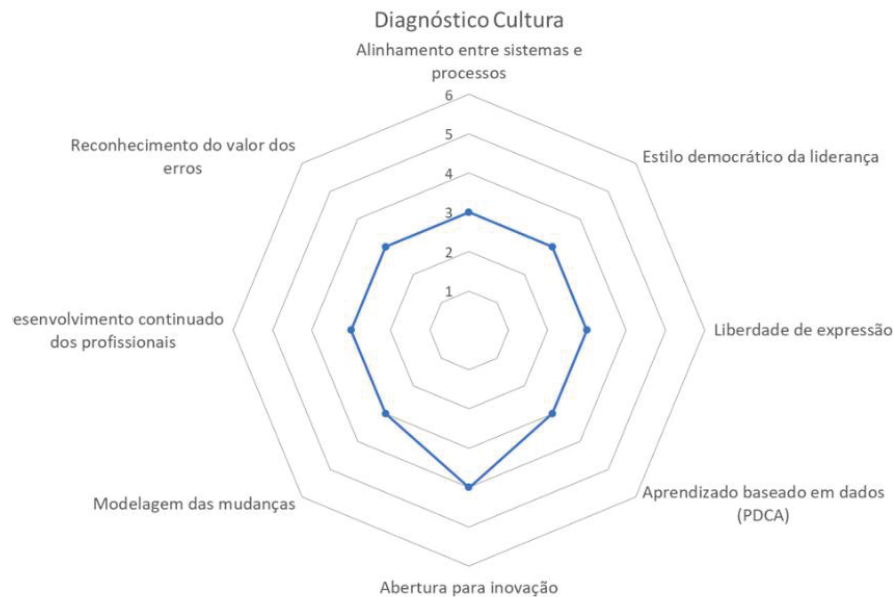
Fonte: Autor (2025)

FIGURA 12 - Mapeamento de fluxo de valor



forma on-line confiável e gerar dados para tratativas como objetivo de garantir uma melhor performance da produção.

FIGURA 13 - Diagnostico Cultural Acatech



Fonte: Autor (2025)

4.1 DIAGNÓSTICO

Foram identificados os objetivos específicos do projeto, os quais incluem: o aumento da eficiência produtiva, a redução do tempo de inatividade das máquinas e a melhoria da qualidade dos produtos. Para estruturar o direcionamento estratégico, foi aplicada a metodologia *Hoshin Kanri*, que possibilitou a definição clara do escopo do projeto para os próximos três anos.

Esse escopo delimitou as áreas da operação que serão impactadas, bem como os processos e equipamentos que farão parte da iniciativa. A partir dessa análise, foram estabelecidas as ações prioritárias a serem implementadas, com foco na transformação digital da manufatura, garantindo alinhamento com os objetivos estratégicos da empresa e sustentando os pilares da Indústria 4.0.

FIGURA 14 - Hoshi Kanri Planejamento estratégico

Mapa de Ação Estratégica (MAE)										MARCOS ESTRATÉGICOS				HISTÓRICO				META																							
										Indicadores				Jun. 2022	Dez. 2022	Jun. 2023	Dez. 2023	Jun. 2022	Dez. 2022	Jun. 2023	Dez. 2023	Jun. 2024	Dez. 2024	Jun. 2025	Dez. 2025																
														Real	Real	Real	Real	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta	Meta														
										OEE	76,27	74,84	—	—	76%	76%	77%	80%	80%	82%	82%	82%	85%																		
										Auditoria Qualidade	1,52	1,02	—	—	1,46	1,46	1,29	1,29	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1																		
										Realização de Manutenção preventivas	90	90,00	—	—	97	97	98	98	98	98	98	98	98																		
										Disponibilidade	77	85,00	—	—	70	77	82	85	90	90	90	90	90																		
										Descrição Indicadores				Status	1 ano	3 anos																									
										OEE	68,31	77%	85%																												
										Auditoria Qualidade	1,61	1,46	1,1																												
										Realização de Manutenção preventivas	66	97	98																												
										Disponibilidade	68	77	90																												
Confiança (Qualidade e entrega)										Indicadores ↑ do projeto				Objetivos Corporativos 3 anos				Entregas do projeto				Ações táticas ↓																			
														Sustentabilidade onde nos postos onde OEE/IROG e TEEP foram implantados.																											
														Treinamento para atualização do conhecimento sobre OEE.																											
														Avaliação de Medição do OEE																											
														Medição do OEE no processos pilotos																											
														Medição do scrap por fábrica																											
														Medições de disponibilidades dos equipamentos.																											
														Implantação do GPT em novos postos por fábrica																											
														Disponibilidade dos equipamentos																											
														Realização de Manutenções preventivas e preditivas																											
														1.1- Definir estrutura de pessoas para projeto de implantação (revisão)																											
														1.2- Definir a capacidade produtiva																											
														1.2.1-Definição dos gargalos																											
														1.3- Multifuncionalidade e eficiência operacional																											
														1.4-Validar tempos de ciclo																											
														1.5- Inserção de horas de manutenção preventivas na disponibilidade																											
														1.6 Validar tipologia de paradas																											
														1.8- Definição das Máquinas TEEP's																											
														1.9- Definição do termos IROG e TEEP - PVD																											
														2.0-Treinamento conceitual equipe de projeto																											
														3.0- Instalação do MES em todos equipamentos PVD.																											
														4.0-Definir e configurar sistema para coleta e cálculo da eficiência																											
														4.1- Definição da rotina diária de OEE Docol- Novos postos																											
														4.2.0-Definir gestão visual																											
														5.0- Treinamento GPT (Cálculo OEE + Rotinas)																											
														5.1- Confeção dos quadros de Gestão Visual																											
														5.1.2- Implantação GPT nas linha CRG																											
														5.2.0- Auditar sustentabilidades dos postos já implantados OEE/ GPT																											
														5.2.1-Cronograma com as data de auditorias de susten OEE/GPT																											
														6.0-Revisão de medição do OEE - PVD																											
														6.1- Revisão medição do OEE Docol 4																											
														6.1.2-Revisão medição do OEE Docol 5																											
														7.0- Revisão dos planejamento anual de Manutenções preventivas																											
														8.0- Implantar o GPT na linha da VD fundição																											

Fonte: Autor (2025)

4.2 PLANEJAMENTO DA SOLUÇÃO

Foi realizada uma avaliação detalhada da situação atual da operação. Essa etapa incluiu a coleta de dados sobre o desempenho das máquinas, tempos de parada, qualidade dos produtos e outros indicadores relevantes que compõem o OEE (Overall Equipment Effectiveness) mensal e a média anual.

Identificou-se que os sistemas e processos existentes, especialmente aqueles relacionados à coleta de dados e à gestão da produção, necessitam de revisão e melhorias. Atualmente, utiliza-se o Microsoft Excel para realizar apontamentos manuais em 216 pontos distribuídos entre todas as unidades fabris, o que resulta na geração de aproximadamente 3.240 indicadores diários, 16.200 semanais, 64.800 mensais e, ao final de um ano, cerca de 777.600 indicadores destinados à formulação da medição da eficiência produtiva.

Em termos de volume de produção, a empresa usina mensalmente mais de 7.200.000 itens, injeta aproximadamente 3.000.000 peças, funde mais de 1.265.000 peças e aplica galvanoplastia em cerca de 1.610.000 peças por mês. Esses números evidenciam a complexidade e o alto volume de dados envolvidos na operação, reforçando a necessidade de uma solução integrada e automatizada para garantir maior confiabilidade, agilidade e eficiência na gestão produtiva.

FIGURA 15 - Ponto de apontamento produtivo

PONTOS DE MONITORAÇÃO OEE				
SISTEMAS	SMP			
FÁBRICAS	II	III	IV	V
PONTOS	13	100	76	27
DADOS POR TURNO	3	3	3	
DADOS DIÁRIOS	1	1	1	
LANÇAMENTO	MANUAL	MANUAL	MANUAL	MANUAL
TOTAL APONTAMENTOS	216			

Fonte: Autor (2025).

4.2.1 Coleta e Análise de Dados OEE atual

Programa criado para extrair dados de paradas de máquinas apontando, estes dados são extraídos de planilhas com diferentes tratativas, na extração eles passam por uma formatação e um tratamento, para assim serem utilizados em uma única tabela possibilitando a montagem de um BI.

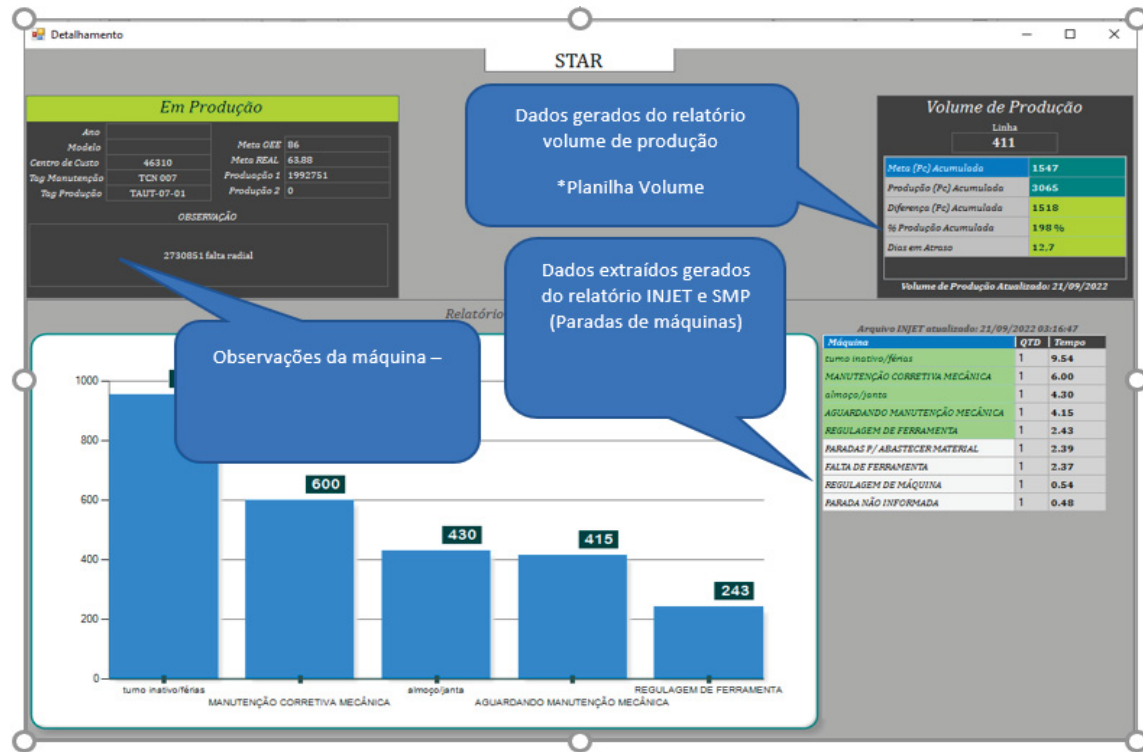
Após a extração destas informações são replicadas para as áreas (PCP-Gestão-facilitador) para ajudar com a disponibilidade destas informações e melhorar a estratégia entre as equipes.

Motivo de Desenvolvimento:

- Tempo para extrair e identificar dados (3 a 4 hrs).
- Dificuldade de gerar a informação em curto prazo.
- Tabelas de dados com tratativas diferentes.
- Formação de dados para BI.
- Dados de difícil acesso não podendo ser replicado

Imagem abaixo representa hoje o que é gerado com a extração e formatação desses dados. Outra interface que faz uso dos dados extraídos.

FIGURA 16 - BI para apontamento Manual



Fonte: Autor (2025).

FIGURA 17 - Apontamento Manual para geração do OEE

CFUR-002 - CENTRO DE FURAÇÃO BROTHER- R4580 - CT:01						
A	Horas Totais	Apontado	HR		3,50	3,50
B	Paradas sem Impacto	Apontado	HR		-	-
C	Horas Disponíveis	A-B	HR		3,50	3,50
D	Paradas com Impacto	Apontado	HR		0,90	0,90
E	Horas Trabalhadas	Apontado	HR		2,60	2,60
F	Horas Produtivas	Volume/Padrão	HR		2,58	2,58
G	Desvio de Ritmo	E-F	HR		0,02	0,02
H	Horas Qualidade	Apontado	HR		2,58	2,58
I	Desvio de Qualidade	Refugo/Padrão	HR		-	-
J	Peças Boas	Apontado	PC		578,00	578,00
K	Peças Refugo	Apontado	PC		-	-
L	Utilização	(E/C)x100	%	68,00%	74,29%	74,29%
M	Eficiência	(F/E)x100	%	98,00%	99,23%	99,23%
N	Qualidade	(H/F)x100	%	98,00%	100,00%	100,00%
O	Produtividade	(L x M x N)	%	65,31%	73,72%	73,72%
PARADA COM IMPACTO						
Acumulado		29/08/2023				
158-PARADAS P/ ABASTECER	0,57	0,57				
605-BANHEIRO/CAFÉ/ÁGUA	0,17	0,17				
607-GINÁSTICA LABORAL	0,17	0,17				

Fonte: Autor (2025).

4.3 ESCOLHA TECNOLÓGICA

Para a escolha do sistema MES mais adequado às necessidades da empresa, foi necessário realizar uma pesquisa aprofundada de fornecedores, bem como uma análise criteriosa dos recursos disponíveis e dos custos envolvidos. Considerando que o sistema MES deveria integrar-se às máquinas e aos sistemas já existentes, com a finalidade de coletar dados em tempo real, esta etapa exigiu atenção especial.

Solicitou-se aos fornecedores previamente selecionados a realização de visitas técnicas, com o objetivo de visualizar as soluções MES/MOM já implementadas em outras empresas. Essas visitas permitiram avaliar tanto a qualidade dos sistemas oferecidos quanto o nível de serviço prestado pelos fornecedores. A decisão final baseou-se em uma avaliação conjunta, qualitativa e quantitativa, dos aspectos técnicos, funcionais e comerciais, permitindo assim a identificação do fornecedor mais adequado para a implementação do sistema MES.

4.3.1 Avaliação corporativa

Para cada módulo foi definido um peso (%) e, com base nas necessidades da empresa, estratificado entre os seus respectivos tópicos:

- 10% - SOFTWARE/HARDWARE/REDE
- 10% - SUPORTE
- 40% - MÓDULOS
- 20% - INDICADORES
- 20% - OUTROS REQUISITOS PERTINENTES

Com base nos tópicos listados cada fornecedor foi avaliado da seguinte forma:

- Atende (1)
- Atende Parcialmente (0,5)
- Não Atende (0)

FIGURA 18 - Avaliação qualitativa dos fornecedores

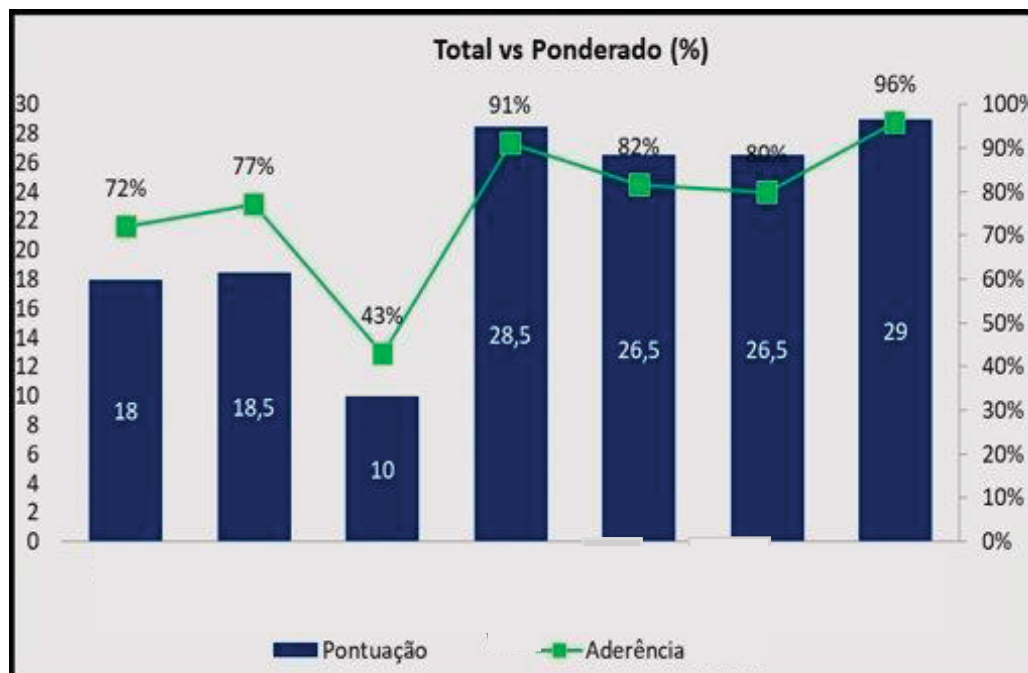
		SOLUÇÕES MES				S prod	S med	S Pesa Decisão	
		Manufacturing Execution System							
		PPI Multitask WEG	Siemens	Dassault	Sequor				
REQUISITOS	SOFTWARE/HARDWARE/RED	Software of linguagem de programação atualizada (Java/Python/Net/HTML)	1	1	1	1	100%	100%	
		Possibilidade de desenvolvimento interno dentro da plataforma	1	1	1	1	100%	100%	
		Aplicação Multihead (Cunha de performance)	1	1	1	1	100%	100%	
		Possibilidade de contratação via modalidade SaaS (aluguel)	1	1	1	1	100%	100%	
		Flexibilidade de Hardware (Opção de utilizar HW próprio)	1	1	1	1	100%	100%	100%
		Integração com Active Directory para controle de usuários/login	1	1	1	1	100%	100%	
		Banco de dados de mercado (SQL/Oracle)	1	1	1	1	100%	100%	
		Resiliência a latência de rede para aplicação VDI (> 5 e < 40 MS de latência)	1	0,5	1	1	100%	100%	
		Possibilidade de integração via API (REST/SOAP)	1	1	1	1	100%	100%	
		Suporte para apoio in loco	0,5	0	0	1	100%	100%	100%
	MÓDULOS	Gestão da Produção (monitoramento OEE)	1	1	1	1	100%	100%	
		Ajustamento de Operação	1	1	1	1	100%	20%	
		Áreas de Planejamento	1	1	1	1	100%	100%	
		Controle Materiais (PCP/PS/OP)	1	1	0,5	0,5	100%	100%	40%
		Qualidade	1	1	1	1	100%	100%	
	INDICADORES PERTINENTES	Manutenção	1	0	0	0,5	100%	100%	
		Tecnologia / R&D	0	1	1	1	100%	100%	
		OEE (detalhado)	1	1	1	1	100%	100%	
		Capacidade de Produção	1	1	1	1	100%	100%	
		Gráfico Pareto (tipos de desperdícios)	1	1	1	1	100%	100%	
		Gráfico Kanban Componentes	1	1	1	1	100%	100%	
		Gráfico Estoques (Curva ABC)	1	1	1	1	100%	100%	20%
	OUTROS REQUISITOS PERTINENTES	MTBF / MTTR	1	1	1	1	100%	100%	
		"Timeline" Manutenção (status)	1	1	1	1	100%	100%	
		Carta de Controle Qualidade	1	1	1	1	100%	100%	
		Painéis customizáveis de visualização (html)	1	0	0	1	100%	100%	
		Plataforma mobile monitoramento (case aplicado)	1	1	1	1	100%	100%	
		Plataforma mobile para apontamento (case aplicado)	1	1	1	1	100%	100%	20%
		Relatórios customizáveis	1	1	1	1	100%	100%	
Armazenamento de informações em nuvem		1	1	1	1	100%	100%		
Pontuação		28,5	26,5	26,5	29	100%	88	100%	
Aderência DOCOL		91%	82%	80%	96%				

Fonte: Autor (2025).

Esta planilha auxiliou o time do projeto a tomar a decisão de qual seria o fornecedor que conseguiria atender todas os requisitos do projeto MES para termos um OEE preciso para aumento de eficiência produtiva.

Utilizando estes critérios, cada fornecedor recebeu um índice de aderência (%) para avaliarmos quais seguiriam dentro do processo de seleção para realizarmos um blueprint.

FIGURA 19 - Aderência dos fornecedores



Fonte: Autor (2025).

4.3.2 Premissas para escolha MES dos 9 equipamentos

Para definirmos quais equipamentos deveríamos implantar o MES definirmos alguns critérios para o projeto piloto para instalara o MES em 9 equipamentos.

Os critérios abaixo que foram considerados:

- **Taxa de Produção Limitada:** A máquina gargalo não pode produzir itens ou concluir tarefas tão rapidamente quanto outras partes do processo. Sua taxa de produção é menor, o que a torna um ponto de estrangulamento no fluxo de produção.
- **Tempo de Ciclo Prolongado:** O tempo necessário para que a máquina gargalo conclua uma operação é significativamente maior em comparação com outras máquinas ou etapas do processo.
- **Acúmulo de Trabalho:** Como a máquina gargalo é mais lenta, muitas vezes há uma acumulação de trabalho à sua espera. Isso pode resultar em filas de espera de produtos semiacabados ou em processo, causando atrasos na produção global.
- **Impacto na Eficiência Geral:** A velocidade da máquina gargalo dita a taxa de produção máxima de todo o sistema. Portanto, otimizar essa máquina é crítico para melhorar a eficiência geral do processo.
- **Identificação de Restrições:** Identificar a máquina gargalo é uma parte fundamental da teoria das restrições (TOC), um conceito de gerenciamento que se concentra em melhorar a eficiência do sistema ao focar na restrição mais crítica.

Para melhorar a eficiência de um sistema de produção ou operação, é importante identificar as máquinas gargalos e tomar medidas para mitigar ou eliminar esses gargalos. Isso pode envolver a otimização da máquina em questão, aumentando sua capacidade, reorganizando o fluxo de trabalho ou até mesmo substituindo-a por uma máquina mais rápida, dependendo da situação e dos recursos disponíveis.

O objetivo é garantir que o sistema funcione de maneira eficiente, sem atrasos desnecessários causados por pontos de estrangulamento.

4.3.3 Servidor de Dados

Para implementação do sistema será necessário o uso de um servidor dedicado ao banco de dados. Sugere-se a utilização de um servidor a ser instalado em ambiente

menos agressivo que o de chão de fábrica para cumprir as funções de servidor de banco de dados com as seguintes características.

- Servidor de banco de dados:
- Processador Intel ® Xeon 6 Cores
- Memória RAM de 16GB
- Armazenamento de 1 TB
- Windows Server ® 2016 ou superior
- Banco de Dados: Microsoft SQL Server 2014 ou superior

4.3.4 Servidor de Aplicação

Para implementação do sistema será necessário o uso de um servidor dedicado aos serviços de aplicação. Sugere-se a utilização de um servidor a ser instalado em ambiente menos agressivo que o de chão de fábrica para cumprir as funções de servidor de aplicação, irá rodar apenas a web server da Sequor. Separando os serviços de servidor de banco de dados e serviços de webserver aumentaremos a performance e a confiabilidade dos mesmos.

- Servidor de aplicação:
- Processador Intel ® Xeon 4 Cores
- Memória RAM de 8GB
- Armazenamento de 500 GB
- Windows Server ® 2016.

4.3.5 Servidor de Serviços

O Servidor de Serviços é responsável pelo principal processo do sistema de controle de produção, neste servidor vai estar rodando serviços que configuram e coletarão dados de todos os dispositivos especiais, além de rodar o serviço de alarmes e monitoramento do sistema. Este servidor deve prever login automático, pois algumas aplicações DCOM não rodam na seção de serviços do Windows

- Servidor de serviços:
- O Processador Intel ® Xeon 4 Cores

- O Memória RAM de 8GB
- O Armazenamento de 500 GB
- O Windows Server ® 2016.

4.4.0 Implementação

Um dos grandes desafios enfrentados durante o planejamento da implantação do sistema MES foi a diversidade de equipamentos presentes nas diferentes unidades fabris, especialmente no que se refere às marcas, modelos e nacionalidades dos CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). Essa variedade refletiu diretamente na complexidade de estabelecer um padrão de comunicação e integração eficiente entre os dispositivos e o novo sistema.

Para superar esse obstáculo, foi realizado um mapeamento detalhado em todas as fábricas do grupo, com o objetivo de identificar os tipos de CLPs utilizados, os protocolos de comunicação disponíveis e os recursos de conectividade existentes. Esse levantamento foi essencial para compreender as dimensões técnicas do projeto e para estimar os investimentos necessários à sua viabilização.

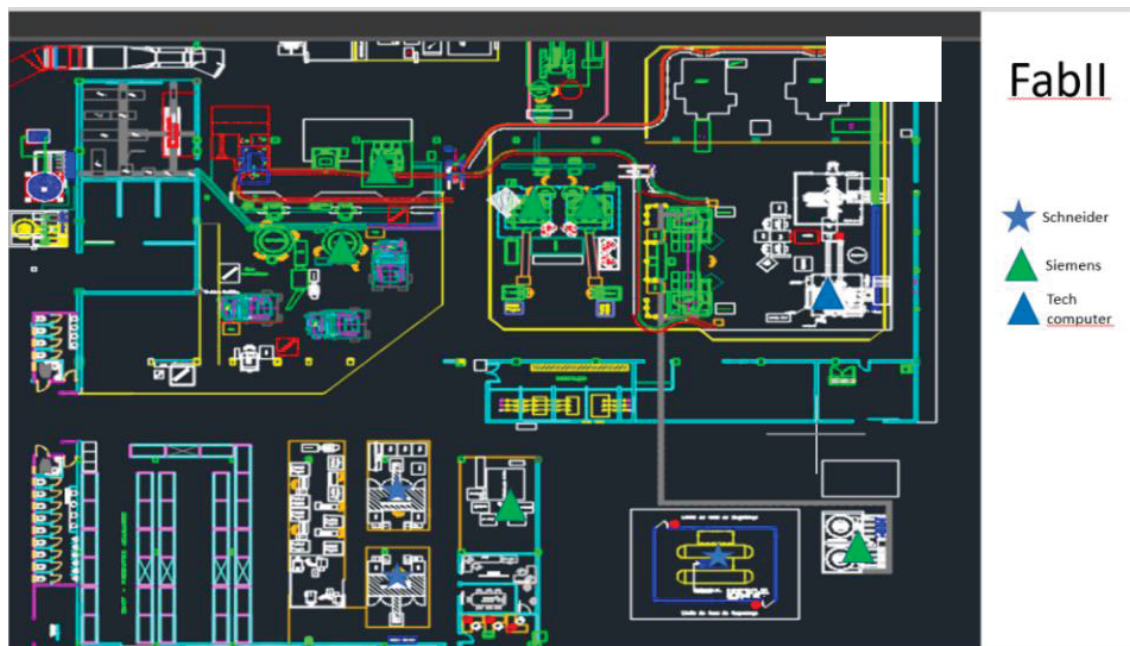
A figura 20 apresenta a distribuição das marcas e modelos de CLPs por unidade fabril. É possível observar uma grande diversidade de marcas, como Siemens, Schneider, Allen-Bradley, Omron, entre outros, o que dificulta a padronização das interfaces e aumenta a necessidade de soluções intermediárias para garantir a compatibilidade entre equipamentos.

A figura 21 detalha os diferentes protocolos de comunicação utilizados nas plantas industriais, incluindo Modbus RTU, Modbus TCP/IP, Profibus, Ethernet/IP, OPC DA/UA e protocolos proprietários. A coexistência desses diversos padrões exigiu o desenvolvimento de uma arquitetura de rede capaz de realizar a conversão e integração dos dados em tempo real, respeitando as particularidades de cada protocolo.

Já a figura 22 apresenta a arquitetura proposta para a integração entre os CLPs e o sistema MES. Essa arquitetura contempla a utilização de gateways industriais, conversores de protocolo e servidores OPC centralizados, permitindo a coleta, padronização e envio de dados das máquinas para o sistema MES de forma estruturada e confiável.

Esse levantamento técnico foi fundamental para a definição da estratégia de integração entre o chão de fábrica e o nível de gestão, garantindo a interoperabilidade necessária para transformar os dados operacionais em informações estratégicas para tomada de decisão. A padronização gradual da comunicação entre os CLPs e a adoção de interfaces universais constituem um dos pilares para o sucesso da digitalização industrial dentro do escopo da Indústria 4.0.

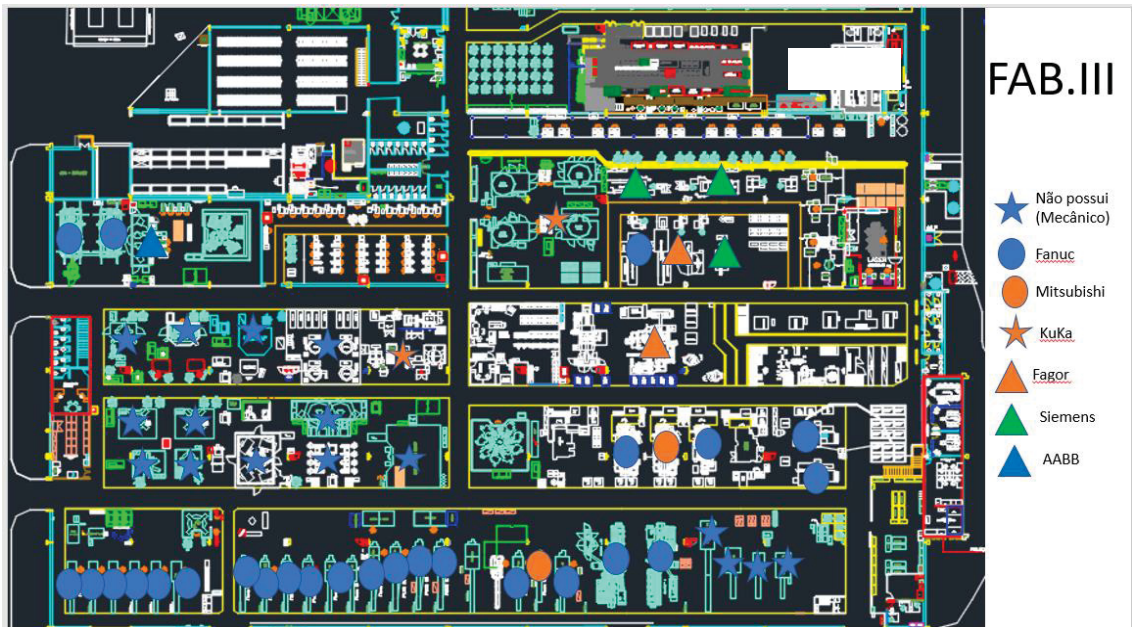
FIGURA 20 - Distribuição de CLPs por fabricante nas unidades fabris.



Fonte: Autor (2025).

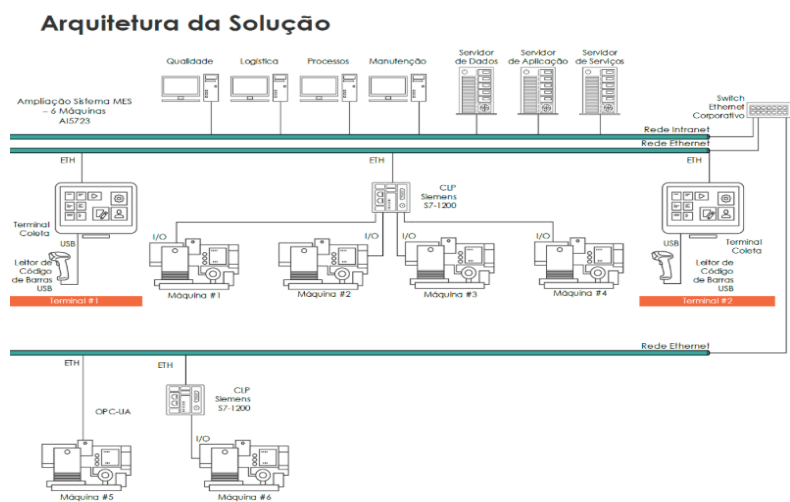
Levantamento da diversidade de marcas e modelos de CLPs utilizados nas diferentes fábricas do grupo, evidenciando a heterogeneidade do parque industrial e a necessidade de soluções personalizadas para integração com o sistema MES.

FIGURA 21 - Protocolos de comunicação identificados por unidade fabril



Fonte: Autor (2025).

FIGURA 22 - Arquitetura proposta para integração entre CLPs e o sistema MES.



Fonte: Adaptado Sequor (2025).

Modelo técnico de integração entre os CLPs e o sistema MES, com uso de gateways industriais, servidores OPC e conversores de protocolo, visando padronizar a comunicação e viabilizar a coleta de dados em tempo real de forma estruturada e segura.

4.4.1 9 equipamentos escolhidos

Depois de verificarmos a importância na coleta de OEE *on line* foram considerados estes equipamentos como prioritários ou gargalos. Estes equipamentos tem um papel fundamental em cada fábrica.

FIGURA 23 - Equipamento Seleccionados

Equipamento
Fornos de Baixa Pressão
Fornos de Baixa Pressão
Transfer Barras
Galvânica
Centro de usinagem
Centro de usinagem
Células de Montagem

Fonte: Autor (2025).

4.4.2 Módulos que foram habilitados nas máquinas

Com MES implantado teremos a seguintes ferramentas:

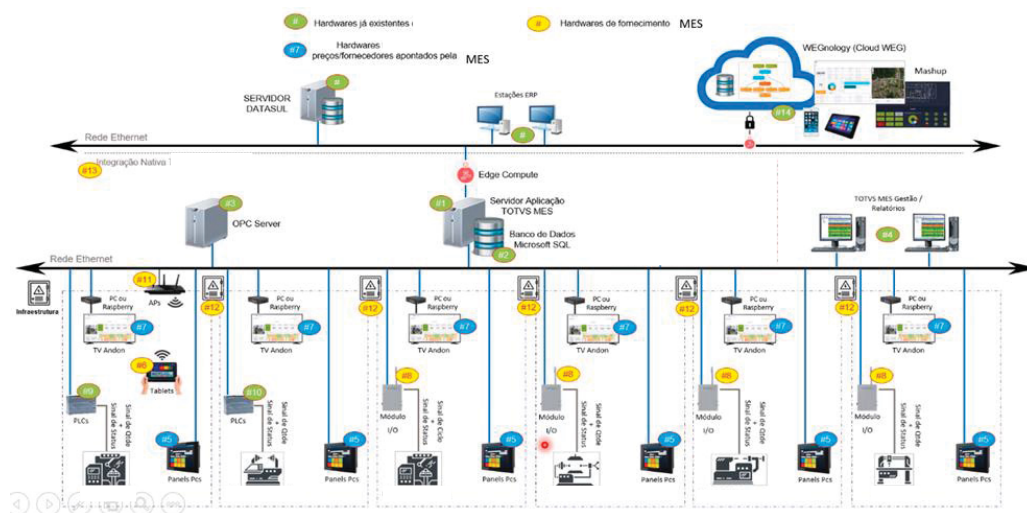
- Matriz de Habilidades
- Controle de Produção
- Controle de Paradas
- OEE
- Cadeia de Ajuda
- Andon
- BI Industrial
- Criteria
- Report
- Dashboard

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a implantação do sistema MES, tornou-se possível a geração automatizada de relatórios detalhados sobre o desempenho da produção, possibilitando a comunicação clara e contínua dos resultados obtidos com as melhorias implementadas, tanto para as equipes operacionais quanto para a gestão.

A visualização em tempo real dos índices de qualidade, rastreabilidade e produtividade facilitou significativamente a integração entre as áreas, promovendo maior alinhamento entre produção, qualidade, manutenção e engenharia. Essa visibilidade ampliada contribuiu para uma atuação mais ágil e colaborativa na resolução de problemas e na identificação de oportunidades de melhoria. Outro destaque foi a implementação da "cadeia de ajuda", um recurso que promoveu um avanço significativo no envolvimento dos gestores e colaboradores, fortalecendo a cultura de responsabilidade compartilhada e impulsionando os ganhos de eficiência produtiva.

FIGURA 24 - Topologia MES do Projeto



Fonte: Adaptado Sequor (2025)

A Figura 24 apresenta a topologia da solução implantada, projetada de forma customizada para atender às necessidades específicas da produção. Essa estrutura viabiliza a coleta, armazenamento e análise de dados em larga escala, contribuindo para a formação de um ambiente de *big data* voltado à geração de inteligência operacional e à tomada de decisões estratégicas futuras.

5.1 MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DE PROCESSO

Com a implantação do sistema MES, tornou-se possível monitorar variáveis de processo que, anteriormente, eram inacessíveis devido à limitação do controle manual. A digitalização dos dados fortaleceu significativamente a cadeia de ajuda, permitindo maior agilidade na identificação e solução de problemas relacionados à qualidade e aos processos produtivos.

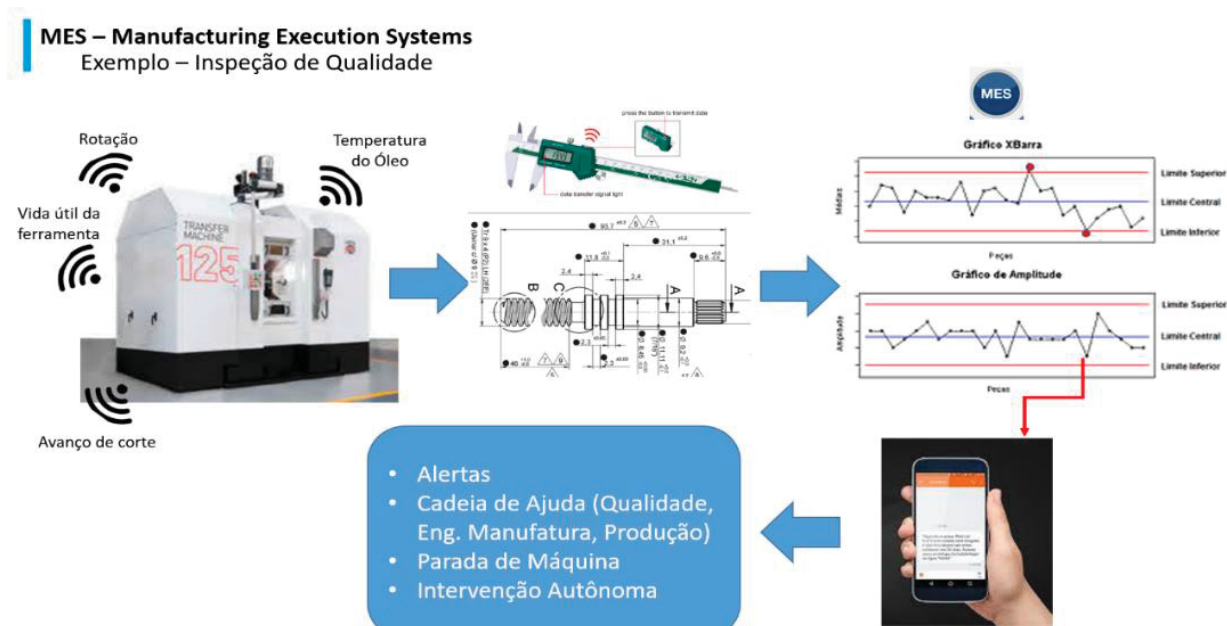
Através do monitoramento em tempo real figura 25, foi possível controlar paradas de máquina indesejadas e estabelecer um plano de manutenção corretiva e preditiva mais eficiente, baseado em dados concretos de operação. Essa evolução permitiu reduzir falhas não planejadas e aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Outro benefício importante foi a implementação da manutenção autônoma, realizada diretamente pelos operadores. Com o suporte do *andon* digital instalado na fábrica, é possível acompanhar, de forma online, a uniformidade dos processos e identificar rapidamente qualquer desvio operacional, otimizando a resposta às anomalias e promovendo maior estabilidade na produção.

FIGURA 25 - Monitoramento de variáveis de processo



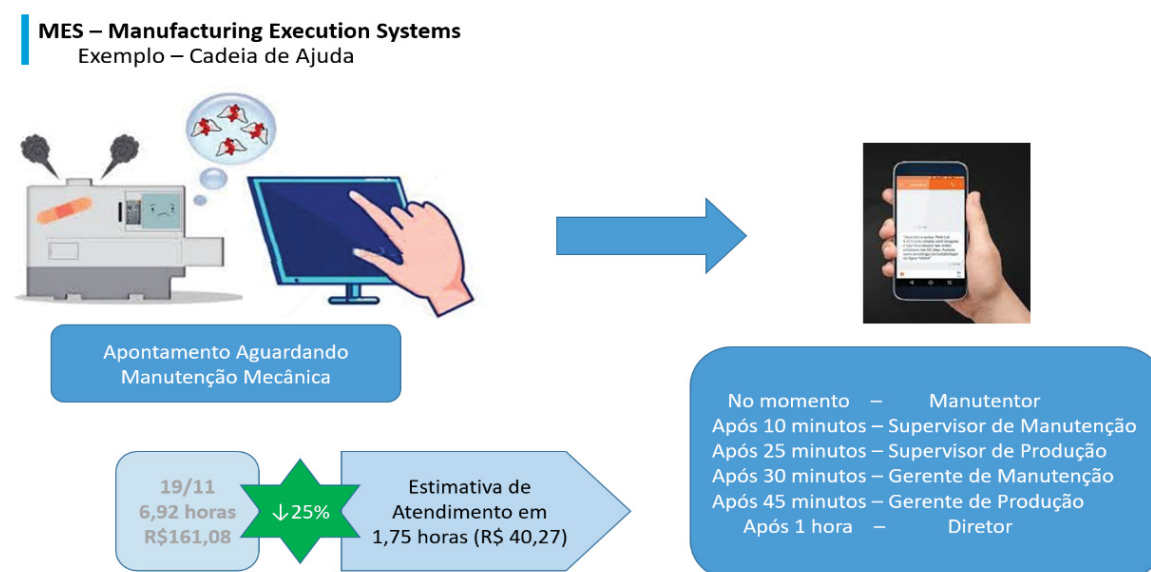
Fonte: Autor (2025).

FIGURA 26 - Geração de carta de controle de processo



Fonte: Autor (2025).

FIGURA 27 - Monitoramento de variáveis de processo



Fonte: Autor (2025).

O andon digital implantado em nossa fábrica é uma ferramenta estratégica integrada ao sistema MES, que permite o monitoramento em tempo real das variáveis de processo e do status operacional das máquinas. Considerando a diversidade de CLPs e protocolos existentes, o Andon atua como um painel unificado que traduz

dados complexos provenientes de diferentes equipamentos em indicadores visuais simples e imediatos para os operadores.

Este painel digital exibe alertas sobre paradas inesperadas, desvios de qualidade e falhas nos processos produtivos, facilitando a identificação rápida dos problemas e acelerando a resposta das equipes de manutenção e operação. Com essa visibilidade ampliada, a cadeia de ajuda se fortalece, promovendo maior colaboração e agilidade na resolução de eventos que impactam a eficiência produtiva. Além disso, o Andon digital suporta a prática da manutenção autônoma, capacitando os operadores a acompanharem a uniformidade do processo diretamente pelo painel e a tomarem ações preventivas ou corretivas, conforme necessário. Essa integração contribui para a redução do tempo de inatividade, melhora a rastreabilidade e assegura a qualidade dos produtos fabricados.

FIGURA 28 - Andon digital integrado ao sistema MES



Fonte: Autor (2025).

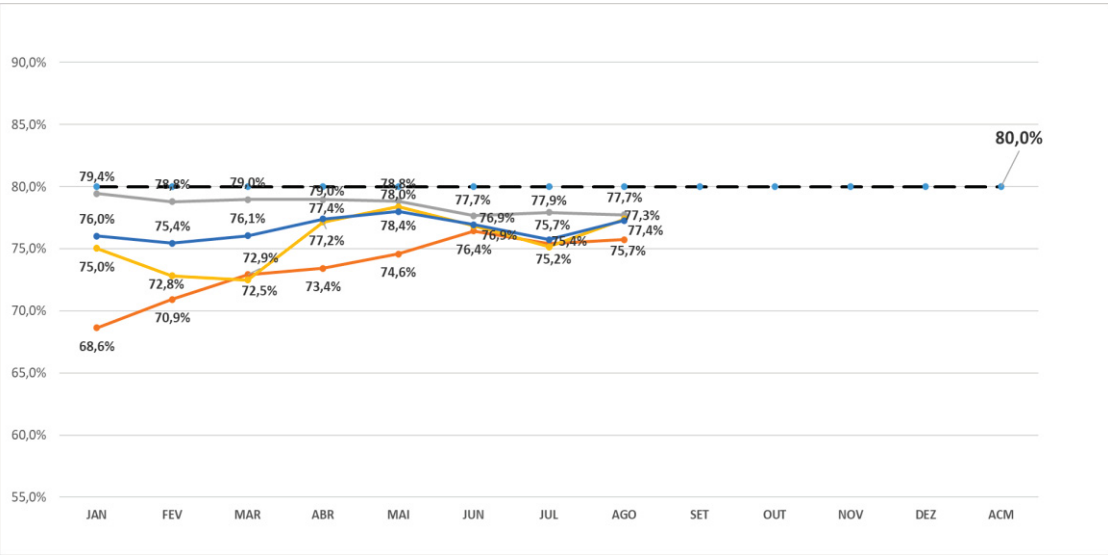
A Figura 29 apresenta o painel digital que centraliza e exibe, em tempo real, os indicadores de processo e o status das máquinas, possibilitando a rápida identificação de falhas, a comunicação imediata entre operadores e a equipe de manutenção, além de fornecer suporte à manutenção autônoma. Essa ferramenta contribui para a melhoria da eficiência e da qualidade na produção.

5.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS DO OEE

Os dados de OEE são coletados e analisados utilizando o sistema MES, que considera três fatores principais: disponibilidade, desempenho e qualidade. O gráfico a seguir apresenta a análise do OEE, utilizada para identificar oportunidades de melhoria nas diferentes fábricas.

Observamos avanços significativos em várias unidades produtivas, refletindo o impacto positivo da implantação do sistema. O objetivo principal é continuar evoluindo, de forma a atender às demandas do mercado com maior produtividade e menores custos de produção.

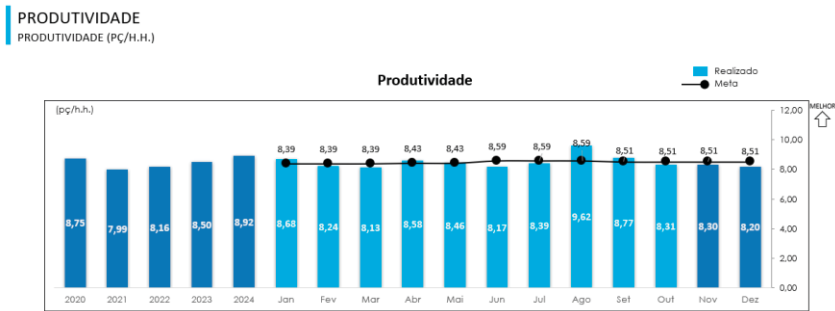
FIGURA 29 - Evolução de Oee por Fábrica



Fonte: Autor (2025).

Neste gráfico, apresenta-se a evolução do Índice de Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) em diferentes unidades fabris ao longo do período analisado. Os dados evidenciam melhorias contínuas nos três pilares do OEE — disponibilidade, desempenho e qualidade — decorrentes da implantação do sistema MES. A figura demonstra o impacto positivo da digitalização e do monitoramento em tempo real sobre a produtividade e a eficiência operacional das fábricas.

FIGURA 30 - Evolução da produtividade com aplicação da Indústria 4.0

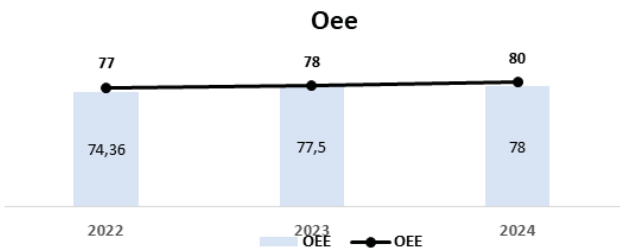


Fonte: Autor (2025).

A Figura 30 apresenta a evolução do indicador de produtividade (peças por hora-homem — pc/h.h.) entre os anos de 2020 e 2024, bem como os resultados mensais do ano de 2024, comparados às metas estabelecidas. Observa-se que, com a introdução progressiva das tecnologias da Indústria 4.0 no processo de manufatura, houve um aumento consistente na produtividade. Comparando os anos de 2022 e 2023, nota-se um incremento de 4,7%, passando de 8,16 para 8,50 pc/h.h. Entre 2023 e 2024, o crescimento foi ainda mais expressivo, atingindo 5%, com a produtividade anual média alcançando 8,92 pc/h.h. Considerando o período total de 2022 a 2024, o ganho acumulado chega a 9,7%.

Esse avanço está diretamente relacionado à aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como sistemas de monitoramento em tempo real, sensores inteligentes, conectividade entre equipamentos, análise de dados integrados e automação avançada. Esses recursos permitiram um maior controle dos processos produtivos, melhoria da eficiência operacional e tomada de decisões mais ágeis e precisas, resultando em um aumento significativo da produtividade global da planta industrial.

FIGURA 31 - Evolução anual do OEE em comparação à meta

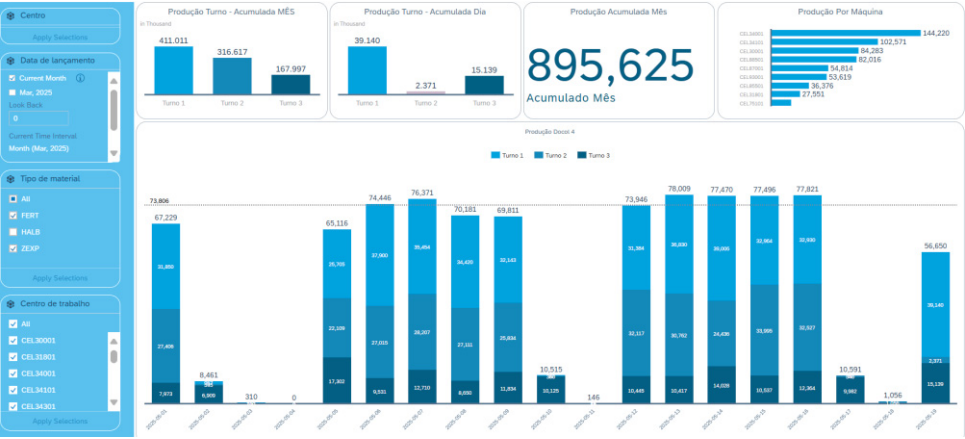


Fonte: Autor (2025).

Observa-se um ganho significativo de eficiência operacional ao longo dos três anos analisados. Entre 2022 e 2023, o OEE apresentou um crescimento de 4,2%, atingindo 77,5% — valor muito próximo da meta estabelecida para o período. Já em 2024, o indicador manteve sua trajetória ascendente, alcançando 78%, demonstrando uma melhora contínua.

Esses avanços são atribuídos diretamente à implementação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, como sistemas de monitoramento contínuo de performance, sensores IoT para controle em tempo real, análises preditivas de manutenção e integração dos dados operacionais com dashboards de apoio à decisão. A aplicação dessas ferramentas proporcionou maior estabilidade nos processos, aumento da disponibilidade dos equipamentos, redução de paradas não planejadas e melhoria do desempenho produtivo. Como resultado, o índice de OEE aproximou-se progressivamente das metas estabelecidas pela gestão industrial, refletindo o impacto positivo da transformação digital na manufatura e reforçando a importância estratégica da Indústria 4.0 como alavanca de competitividade industrial.

FIGURA 32 - Monitoramento em tempo real da produtividade



Fonte: Autor (2025).

Painel de visualização da produção gerado pelo sistema MES que apresenta, em tempo real, a produtividade acumulada por turno, por máquina e por centro de trabalho. A figura exhibe o desempenho das células de produção durante o mês de março de 2025, com dados segmentados por turno (Turno 1, Turno 2 e Turno 3) e por data. O painel permite o acompanhamento detalhado da produção diária e mensal, facilitando a tomada de decisão e a gestão da eficiência operacional em diferentes unidades produtivas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso demonstrou, de forma prática e fundamentada, como a integração do indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) com o sistema MES (Manufacturing Execution System) pode promover avanços significativos na performance produtiva industrial. A aplicação coordenada dessas ferramentas, aliada às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, gerou ganhos mensuráveis em produtividade, qualidade e confiabilidade, alinhados às metas estratégicas da organização. A análise sistemática do OEE integrada ao MES permitiu uma gestão mais eficiente dos ativos produtivos, reduzindo perdas antes não visíveis, otimizando setups, mitigando defeitos e diminuindo tempos de parada, resultando em um incremento de cerca de 5% na produtividade — equivalente a uma produção adicional de aproximadamente 70 mil itens por mês, sem aumentar colaboradores ou investimentos em equipamentos.

Os resultados foram especialmente evidentes nos setores de montagem e usinagem, com maior aderência a práticas padronizadas e melhoria contínua. Esses avanços foram potencializados pela incorporação de dispositivos IoT para monitoramento em tempo real e aplicação de machine learning para detecção preditiva de gargalos e falhas, permitindo respostas mais ágeis e eficazes.

Além dos benefícios técnicos, o projeto impactou positivamente a sustentabilidade e os princípios ESG, com redução de desperdícios, uso racional de energia e recursos e maior confiabilidade dos processos, promovendo uma manufatura mais limpa e eficiente conforme o smart manufacturing. Assim, a organização se posiciona competitiva e responsável diante dos desafios ambientais e sociais contemporâneos. Por fim, o sucesso dessas tecnologias está ligado ao engajamento da gestão e operadores, à cultura de inovação e melhoria contínua, e ao alinhamento entre pessoas, processos e tecnologia. Este trabalho contribui para consolidar um modelo de manufatura inteligente, sustentável e de alta performance, apto a enfrentar a transformação digital na indústria.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação – citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002. 7p. Disponível em: <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2016/05/NBR-10520-CITA%C3%87%C3%95ES.pdf>

_____. NBR 6023: informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ACETO, G.; PERSICO, Va.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100129, 2020.

AKTER, Shahriar et al. How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment?. **International journal of production economics**, v. 182, p. 113-131, 2016.

ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). **Journal of innovation management**, v. 3, n. 4, p. 16-21, 2015.

ARICA, Emrah; POWELL, Daryl J. Status and future of manufacturing execution systems. In: **2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, 2017. p. 2000-2004.

ATHINARAYANAN, R.; NEWELL, B.; GARCIA, J.; OSTANEK, J.; DIAO, X.; UNDARARAJAN, R.; ZHANG, H.; RICHARDS, G. Learning in Context with Horizontally. & Vertically Integrated Curriculum in a Smart Learning Factory. **Procedia Manufacturing**, v. 31, p. 91–96, 2019.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BAMBER, C. J. et al. Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 9, n. 3, p. 223-238, 2003.

CALANDRELI, Paulo Roberto; VALLE, Pablo Deivid; DESCHAMPS, Fernando. Maximizing operational efficiency with Industry 4.0 technology: integrating OEE as a performance indicator. *London: Springer-Verlag London Ltd.*, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-025-15408-y>. Acesso em: 21.05.25

CHIARADIA, A. J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos**: Um estudo de caso na indústria automobilística. Dissertação. 133f. 2004. (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de Produção e Operações. Customization Manufacturing Systems: An Example of Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 4, p. 8977–8986, 2016a.

JONSSON, Patrik; LESSHAMMAR, Magnus. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems-the role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 1, p. 55-78, 1999.

LUNA, Sérgio Vasconcelos de. Planejamento de pesquisa: uma introdução. In: **Planejamento de pesquisa: uma introdução**. 1999. p. 107-107.

MANTRAVADI, Soujanya; MØLLER, Charles. An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0?. **Procedia manufacturing**, v. 30, p. 588-595, 2019.

NADOLSKIS, Hendricas. **Comunicação redacional atualizada**. 8a ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

NAKAJIMA, S. Introduction to TPM. **Productivity Press**. Cambridge: MA, 1993.

NAKAJIMA, S. TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance. **Productivity Press**. Portland: OR, 1989.

RON, A. J.; ROODA, J. E. Equipment effectiveness: OEE revisited. **IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing**, v. 18, n. 1, p. 190-196, 2005. <http://dx.doi.org/10.1109/TSM.2004.83665>

SEVERINO, Antonio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. 22a ed. São Paulo: Edição. 22º · **Editora. Cortez** · Data da publicação. 1 janeiro 2007

STAUDT, F. H.; COELHO, A. S.; GONÇALVES, M. B.; **Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov**.

WAGIRE, A. A.; RATHORE, A. P. S.; JAIN, R. Analysis and synthesis of Industry 4.0 research landscape: Using latent semantic analysis approach. **Journal of manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 1, p. 31–51, 2020.

WAN, J.; YI, M.; LI, D.; ZHANG, C.; WANG, S.; ZHOU, K. Mobile services for customization manufacturing systems: An example of industry 4.0. **IEEE Access**, v. 4, p. 8977-8986, 2016.