



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

YURI MEDEIROS NOVOCHALDO

**IMPLANTAÇÃO DE CONCEITOS E TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NA  
GESTÃO DA QUALIDADE DE UMA EMPRESA DE MÉDIO PORTE**

FLORIANÓPOLIS

2024

Yuri Medeiros Novochadlo

**Implantação de conceitos e tecnologias da indústria 4.0 na gestão da  
qualidade de uma empresa de médio porte**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na área de Gestão de Operações.

Orientador: Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.

Florianópolis

2024

Novochadlo, Yuri Medeiros

Implantação de conceitos e tecnologias da indústria 4.0 na gestão da qualidade de uma empresa de médio porte / Yuri Medeiros Novochadlo ; orientador, Edson Pacheco Paladini, 2024.

99 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão da Qualidade. 3. Eficiência Global dos Equipamentos. 4. Transformação Digital. I. Paladini, Edson Pacheco. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

Yuri Medeiros Novochadlo

**Implantação De Conceitos E Tecnologias Da Indústria 4.0 Na Gestão Da Qualidade De  
Uma Empresa De Médio Porte**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 27 de junho de 2024,  
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Forcellini, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Mauricio Resende, Dr.  
Instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedico esta dissertação à memória de Jairo Pessoa Guimarães, tio amado  
cuja paixão pelas exatas moldou meu caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao Dr. Edson Pacheco Paladini pela orientação valiosa e por expandir minha visão, introduzindo-me a uma parte fascinante do universo da Qualidade. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos aos membros da banca examinadora, os professores Dr. Fernando Forcellini, da UFSC, e Dr. Luis Mauricio Resende, da UTFPR. Agradeço profundamente pela disposição e pelo valioso tempo dedicado à avaliação deste trabalho.

Também desejo estender meus agradecimentos aos meus pais, Luis Mario Novochadlo e Simone Medeiros Novochadlo, por todo o apoio e investimento em minha educação. Sem o incentivo deles, não estaria neste ponto.

Por fim, agradeço profundamente à minha esposa, Dra. Maria Rosa da Silva Costa, cujo apoio incondicional foi fundamental ao longo desta jornada desafiadora. Nos momentos mais difíceis, foi sua força que me sustentou; nas horas de dúvida, foi sua orientação que me guiou; e em cada instante de ansiedade, foi sua paciência que me trouxe tranquilidade. Reconheço e sou imensamente grato por todos os sacrifícios que fez, muitas vezes abdicando de suas próprias necessidades, para que eu pudesse concluir este mestrado. Sem ela, esta dissertação não teria sido possível.

## RESUMO

A transição para a Indústria 4.0 já é uma realidade global. No entanto, no contexto brasileiro, as pequenas e médias empresas enfrentam desafios significativos. Conforme destacado pela Confederação Nacional da Indústria em 2022, a falta de conhecimento técnico sobre as tecnologias emergentes é uma das principais barreiras. Essa lacuna impede que as empresas aproveitem as oportunidades para aprimorar seus processos produtivos, especialmente em um cenário tão dinâmico como o atual. Com isso em mente, este estudo investiga, por meio de uma pesquisa-ação, o impacto da implantação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 na gestão de qualidade de uma empresa de médio porte. O estudo foi realizado no setor de injeção de uma empresa que fabrica óculos injetados, onde o conceito de Transformação Digital foi implantado, fazendo uso de tecnologias como Internet das Coisas (*IoT*), *Big Data*, Computação em Nuvem e um software obtido por meio do modelo *Software as a Service*. A pesquisa explora a influência dessa transformação nos três níveis de gestão da qualidade: operacional, tático e estratégico. Além disso, buscou-se demonstrar como o indicador de Eficiência Global dos Equipamentos (*OEE*) implantado no setor se comportou com base nos dados coletados por essas tecnologias e nas ações aplicadas. Os resultados da pesquisa indicam que a adoção de tecnologias como *IoT*, *Big Data* e computação em nuvem tornou os dados mais transparentes e acessíveis, agilizando a resposta às perdas produtivas por meio de tomadas de decisão orientadas por dados. Além disso, o estudo ressalta a importância da capacitação dos colaboradores para que possam se integrar efetivamente às novas tecnologias, desempenhando um papel para além da operação de software.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; *OEE*; Qualidade 4.0.

## ABSTRACT

The transition to Industry 4.0 is already a global reality. However, in the Brazilian context, small and medium-sized companies face significant challenges. As highlighted by the National Confederation of Industry in 2022, the lack of technical knowledge about emerging technologies is one of the main barriers. This gap prevents companies from taking advantage of opportunities to improve their production processes, especially in a scenario as dynamic as the current one. With this in mind, this study investigates, through action research, the impact of implementing Industry 4.0 concepts and technologies on the quality management of a medium-sized company. The study was carried out in the injection sector of a company that manufactures injected glasses, where the concept of Digital Transformation was implemented, making use of technologies such as Internet of Things (IoT), Big Data, Cloud Computing and a software obtained through the model Software as a Service. The research explores the influence of this transformation on the three levels of quality management: operational, tactical and strategic. Furthermore, we sought to demonstrate how the indicator of Overall Equipment Effectiveness (OEE) implemented in the sector behaved based on the data collected by these technologies and the actions applied. The research results indicate that the adoption of technologies such as IoT, Big Data and Cloud Computing has made data more transparent and accessible, speeding up the response to production losses through data-driven decision making. Furthermore, the study highlights the importance of training employees so that they can effectively integrate with new technologies, playing a role beyond software operation.

**Keywords:** Industry 4.0; *OEE*; Quality 4.0.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dificuldades para a implantação de tecnologias da indústria 4.0.....	17
Figura 2 – Fluxograma do Desenvolvimento do Estudo.....	23
Figura 3 – Pilares da Indústria 4.0.....	35
Figura 4 – Visão geral de uma nuvem computacional.....	43
Figura 5 – Fluxograma da DVC.....	44
Figura 6 – Funcionamento do setor de Injeção. ....	53
Figura 7 – Circuito para captura de dados da injetora Himaco.....	54
Figura 8 – Coleta de dados da injetora Haitian e da injetora Arburg.....	55
Figura 9 – Avaliação Inicial (Fase 1) .....	58
Figura 10 – Fluxograma da implantação da tecnologia.....	60
Figura 11 – <i>Dashboard</i> das Injetoras. ....	63
Figura 12 – Telas dos indicadores em tempo real.....	64
Figura 13 – Fluxograma da Fase 3 da integração.....	66
Figura 14 – Fluxograma da Fase 4 da integração.....	66
Figura 15 – Fluxograma da implantação concluída.....	68
Figura 16 – Histórico do <i>OEE</i> e suas variáveis. ....	78
Figura 17 – Histórico de paradas não planejadas por grupos de paradas. ....	79
Figura 18 – Pareto das dez maiores paradas não programadas de Jan/2023. ....	80
Figura 19 – Pareto das 10 maiores paradas não programadas de Fev/2023. ....	80
Figura 20 – Pareto das 10 maiores paradas não programadas de Mar/2023. ....	80
Figura 21 – Tempo de parada por troca de molde mensal e trimestral. ....	82
Figura 22 – Tempo de parada por manutenção de molde mensal e trimestral. ....	83
Figura 23 – Performance mensal e por trimestre entre Jan/ 2023 e Abr/2024. ....	84
Figura 24 – Comparação entre o tempo médio de ciclo nominal e real .....	84
Figura 25 – Diferença de tempo entre os ciclos médios nominais e reais por mês...85	
Figura 26 – Diferença entre os tempos de ciclo real e nominal no ano de 2024. ....	85
Figura 27 – Linha do tempo do estudo.....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorização do <i>OEE</i> .....	48
Quadro 2 – Comparação dos estoques no final de 2022 e 2023. ....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APS	Advanced Planning and Scheduling
BI	Business Intelligence
DVC	Data Value Chain
ERP	Enterprise Resource Planning
IaaS	Infrastructure as a Service
IoT	Internet of Things
MES	Manufacturing Execution System
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OP	Ordem de Produção
PaaS	Platform as a Service
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
SaaS	Software as a Service
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
TQM	Total Quality Management
TPM	Total Productive Maintenance
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WIP	Work in Progress

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	18
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.4	LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	19
1.5	ADERÊNCIA DA DISSERTAÇÃO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFSC.....	20
1.6	ETAPAS DESENVOLVIDAS NO ESTUDO.....	21
1.7	ESTRUTURA DO TEXTO.....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
2.1	GESTÃO DA QUALIDADE.....	25
2.2	QUALIDADE 4.0.....	29
2.3	GESTÃO OPERACIONAL DA QUALIDADE.....	31
2.4	A INDÚSTRIA 4.0.....	32
<b>1.4.1</b>	<b>Transformação Digital</b> .....	<b>35</b>
<b>1.4.2</b>	<b>ERP (Enterprise Resources Planning)</b> .....	<b>37</b>
<b>1.4.3</b>	<b>MES (Manufacturing Execution System)</b> .....	<b>38</b>
<b>1.4.4</b>	<b>IoT (Internet of Things)</b> .....	<b>39</b>
<b>1.4.5</b>	<b>Big Data</b> .....	<b>41</b>
<b>1.4.6</b>	<b>Computação em Nuvem</b> .....	<b>42</b>
<b>1.4.7</b>	<b>Cadeia de Valor de Dados - Data Value Chain (DVC)</b> .....	<b>43</b>
<b>1.4.8</b>	<b>Softwares para aplicação de IoT</b> .....	<b>45</b>
2.5	EFICIÊNCIA GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS – OEE.....	45
2.6	INDICADORES DE QUALIDADE E BUSINESS INTELLIGENCE (BI).....	48
2.7	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	49
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>51</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA.....	51
3.2	O CONTEXTO DA PESQUISA E AS FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	52
<b>3.2.1</b>	<b>A Empresa</b> .....	<b>52</b>
<b>3.2.2</b>	<b>O Setor de Injeção</b> .....	<b>52</b>
<b>3.2.3</b>	<b>A captura de dados</b> .....	<b>54</b>
<b>3.2.4</b>	<b>O Software</b> .....	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA</b> .....	<b>58</b>

4.1	AVALIAÇÃO INICIAL (FASE 1).....	58
4.2	IMPLANTAÇÃO ATÉ O INICIO DA OPERAÇÃO (FASE 2).....	59
<b>4.2.1</b>	<b>Implantação dos equipamentos.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Coleta de dados .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Treinamentos.....</b>	<b>62</b>
4.2.3.1	<i>Treinamento Operacional.....</i>	62
4.2.3.2	<i>Treinamento Tático .....</i>	64
<b>4.2.4</b>	<b>Operação .....</b>	<b>65</b>
4.3	INTEGRAÇÃO ERP – SOFTWARE (FASE 3) .....	65
4.4	INTEGRAÇÃO SOFTWARE - ERP (FASE 4).....	66
4.5	IMPLANTAÇÃO CONCLUÍDA .....	67
<b>5</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS .....</b>	<b>69</b>
5.1	IMPACTO NA GESTÃO DA QUALIDADE .....	69
<b>5.1.1</b>	<b>Gestão Operacional da Qualidade.....</b>	<b>70</b>
5.1.1.1	<i>Apontamentos de Produção.....</i>	70
5.1.1.2	<i>Apontamentos de Perda .....</i>	70
5.1.1.3	<i>Apontamentos de Parada .....</i>	71
5.1.1.4	<i>Acompanhamento da performance .....</i>	72
<b>5.1.2</b>	<b>Gestão Tática da Qualidade .....</b>	<b>72</b>
5.1.2.1	<i>Método de decisão sobre o que produzir.....</i>	73
5.1.2.2	<i>Ordens de Produção (OPs).....</i>	74
5.1.2.3	<i>Gestão do estoque WIP de Produção (OPs) .....</i>	75
<b>5.1.3</b>	<b>Gestão Estratégica da Qualidade .....</b>	<b>75</b>
5.1.3.1	<i>Indicadores de desempenho .....</i>	75
5.1.3.2	<i>Diversificação da produção.....</i>	76
5.1.3.3	<i>Entregas mais rápidas .....</i>	76
5.1.3.4	<i>Orientação a dados.....</i>	77
5.2	IMPACTO DOS CONCEITOS E TECNOLOGIAS NO OEE.....	77
<b>5.2.1</b>	<b>Disponibilidade .....</b>	<b>79</b>
5.2.1.1	<i>Parada “D01 - Troca de Molde” .....</i>	81
5.2.1.2	<i>Parada “A02 - Manutenção de Molde” .....</i>	82
<b>5.2.2</b>	<b>Performance .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Qualidade.....</b>	<b>86</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Linha do Tempo .....</b>	<b>86</b>

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria 4.0, também conhecida como 4ª Revolução Industrial, é um termo citado pela primeira vez em 2011 em uma feira industrial na Alemanha, na qual o tema central foi eficiência (Santos *et al.*, 2018a). O objetivo da indústria 4.0 é transformar sistemas produtivos simples em sistemas produtivos colaborativos, implementando novas tecnologias, como biologia sintética, inteligência artificial, internet das coisas (*Internet of Things - IoT*), manufatura aditiva, *Big Data*, integração horizontal e vertical de sistemas, entre outros. Apesar do termo recente, essas tecnologias já estão fortemente implantadas em países como Alemanha e os Estados Unidos. O Brasil, no entanto, carece de investimentos nessa área, o que faz com que boa parte do setor de manufatura nacional não consiga acompanhar esses avanços tecnológicos.

Apesar disso, o setor industrial brasileiro vem buscando formas de aumentar sua produtividade, tentando implantar conceitos e ferramentas por meio de práticas mais simples e com menores custos, de modo que, aos poucos, o cenário nacional vá se adequando à nova realidade. De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2022), cerca de 69% das empresas industriais empregavam ao menos uma das 18 tecnologias conhecidas da indústria 4.0, sendo que 26% utilizam entre 1 a 3 tecnologias, 36% utilizam entre 4 e 9 e apenas 7% utilizam mais de 10 tecnologias citadas na lista da instituição.

Embora ainda exista uma grande quantidade de empresas que não estão alinhadas com essas mudanças – principalmente as que possuem baixo investimento tecnológico –, é possível observar uma grande oportunidade para aperfeiçoamento em qualidade quando tecnologias da indústria 4.0 são implantadas, como por exemplo, os sistemas ciberfísicos, automação modular e *IoT* (Bruno, 2016). Outro problema relacionado à adequação do setor de manufatura do país é o fator humano. Embora muitos gerentes e engenheiros conheçam a necessidade de se aderir à indústria 4.0, estes não sabem por onde começar (Sommer, 2015). Além disso, de acordo com Tammone e Tomomitsu (2019), há casos de empresas que passaram a adotar essas tecnologias, mas encontraram uma grande resistência quanto às mudanças estruturais geradas devido a barreira cultural já adotada por seus colaboradores.

Um meio de implantar ferramentas da indústria 4.0 com um custo acessível às indústrias brasileiras é integrar o sistema de manufatura digitalmente, criando uma

rede interconectada com objetos físicos, permitindo desse modo a coleta de dados da produção em tempo real e auxiliando assim o processo de tomada de decisão (Albertin; Pontes, 2021).

Além disso, essa tecnologia permite reduzir o tempo de colocação de produtos no mercado e atender os crescentes requisitos do cliente, melhorando a qualidade do produto. Essa conectividade possibilitou a união entre a tecnologia da *IoT* e indicadores já conhecidos do sistema *Toyota* de produção, como o coeficiente de eficiência global dos equipamentos - *OEE (Overall Equipment Effectiveness)* –, o que viabilizou novas possibilidades de rastrear e identificar falhas do processo produtivo (Björklöf; Castro, 2022).

Com base nos dados fornecidos pela Confederação Nacional da Indústria, mencionados anteriormente, e considerando a dificuldade enfrentada pelas empresas de pequeno e médio porte para se adaptarem às mudanças decorrentes da indústria 4.0, este estudo teve como objetivo implantar tecnologias desta nova era industrial em uma empresa de médio porte com 133 colaboradores, visando auxiliar na digitalização do processo produtivo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2022), muitas empresas evitam tecnologias da indústria 4.0, um exemplo disso é o uso de sensores para o controle do processo, uma tecnologia muito promissora que tem crescido nos últimos anos – cerca de 19% entre os anos de 2016 e 2021, mas que ainda não é utilizada por 54% da indústria. O exemplo anterior é comum para outras práticas da indústria 4.0 e existem muitos relatos sobre os motivos de não se aderir a essas ferramentas.

A Figura 1 apresenta em detalhes as dificuldades mencionadas na pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria em 2022, em comparação com os resultados obtidos em 2016. Nela é possível observar que o maior desafio enfrentado pelos gestores entrevistados em 2022 foi o alto custo de implantação, assim como em 2016. Além disso, outras barreiras como a estrutura, a cultura da empresa e a falta de clareza quanto ao retorno do investimento também permaneceram quase inalteradas em 2022, quando comparadas a 2016.

Figura 1 – Dificuldades para a implantação de tecnologias da indústria 4.0.



Fonte: Confederação Nacional da Indústria, 2022

Outro índice que chama a atenção é a falta de conhecimentos técnicos sobre as tecnologias, especialmente em um mundo cada vez mais digitalizado e orientado pela tecnologia. Sem entender as ferramentas disponíveis ou como aplicá-las efetivamente, as empresas podem perder oportunidades de melhorar seus processos produtivos. Quando perguntados sobre questões da tecnologia da informação, como *softwares*, infraestruturas e segurança, essas barreiras aparentam ter diminuído em relação a 2016, deixando evidente que os maiores problemas são financeiros, culturais e a falta de conhecimento.

Ainda de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2022), o porte da empresa também é um importante fator para o nível de integração com essas inovações, já que 86% das empresas de grande porte aplicam pelo menos uma ferramenta da indústria 4.0. Entretanto, esse percentual diminuiu para 64% quando se trata de indústrias de médio porte e diminuiu mais 22% para pequeno porte.

Considerando o exposto, este trabalho busca, por meio de uma pesquisa-ação, implantar conceitos e ferramentas da indústria 4.0 e avaliar o reflexo que essas

aplicações trazem para a gestão da qualidade de uma empresa de médio porte, evidenciando-se um novo conceito que está emergindo nesse contexto, a Qualidade 4.0. Portanto, este estudo será aplicado em uma empresa de médio porte no Brasil para mostrar como a implantação de conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 impactam na gestão da qualidade, revelando quais benefícios essas ferramentas podem apresentar para as empresas.

## 1.2 PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

A experiência prática de empresas de médio porte no que se refere aos conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 mostram que as dificuldades enfrentadas por elas, neste contexto, começam com a compreensão inadequada dos impactos da implantação em suas estruturas organizacionais e processos. Além disso, há uma percepção equivocada de que qualquer tecnologia ou qualquer método ligado à Indústria 4.0 requer elevados investimentos, treinamentos caros ou mesmo extrema qualificação dos Recursos Humanos da organização (CNI; 2022).

A partir dos problemas citados, o presente estudo analisa uma questão crítica para a implantação da Indústria 4.0 em empresas de médio porte: quais são as principais mudanças na gestão de qualidade ao implantar conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 em uma empresa de óculos injetados de médio porte?

As respostas a essas questões são fundamentais para a compreensão do processo de implantação da Indústria 4.0 nas empresas de médio porte e para o desenvolvimento de estratégias que possam maximizar seus benefícios e minimizar seus impactos negativos.

Além das colocações iniciais, algumas outras questões guiaram esta investigação, são elas:

- a) Como conceitos e ferramentas da Indústria 4.0 podem auxiliar na melhoria dos valores do *OEE*?
- b) Quais dificuldades ocorrem durante a implantação dessas tecnologias?
- c) Quais adaptações precisam ser feitas no processo produtivo?
- d) Como os recursos humanos da empresa podem ser envolvidos nessas mudanças?
- e) Quais indicadores que compõem o índice *OEE* melhoraram no ambiente estudado?

Conclusivamente, espera-se que este estudo contribua para uma compreensão mais efetiva dos desafios e oportunidades da Indústria 4.0, promovendo o desenvolvimento de estratégias eficazes para implantação em empresas de médio porte.

### 1.3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral implantar conceitos, métodos e tecnologias da indústria 4.0 em uma empresa de médio porte, visando avaliar o impacto deste processo na Gestão e Avaliação da Qualidade em níveis operacional, tático e estratégico.

Os objetivos específicos da investigação são organizados da seguinte forma:

- a) Identificar as dificuldades na implantação e utilização de tecnologias associadas à Indústria 4.0 em empresas de porte médio;
- b) Definir o papel dos Recursos Humanos no processo de adoção desses conceitos, métodos e tecnologias;
- c) Avaliar o impacto dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 nas três variáveis do *OEE*, a disponibilidade, a performance e a qualidade.

Com os objetivos devidamente estabelecidos, procede-se a uma seção dedicada à apresentação as limitações e delimitações do estudo.

### 1.4 LIMITAÇÕES E DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Essa pesquisa, que trata da aplicação de conceitos e ferramentas da Indústria 4.0, com ênfase na transformação digital da indústria, foi direcionada para uma fábrica de óculos de médio porte, sendo essa a mais importante delimitação da pesquisa, pois apresenta uma pesquisa-ação aplicada a uma empresa específica.

Outra delimitação a considerar é o direcionamento da aplicação do estudo para um setor específico da organização, que é o setor de injeção. Embora a gestão da qualidade seja importante em todas as áreas de uma fábrica, as técnicas e tecnologias utilizadas podem variar de acordo com o setor. A escolha do setor de injeção para direcionar o estudo deve-se ao fato da importância que esse setor tem no cenário brasileiro, tendo faturado cerca de 117,5 bilhões de reais em 2022 e empregando mais de 340.000 pessoas nesse mesmo ano (Abiplast, 2023). Além

disso, melhorias na eficiência do setor dentro do contexto estudado podem resultar em diminuição de custos, seja por meio da diminuição de peças no setor ou pela diminuição de horas extras ou refugo (Cañizares, 2018).

Na escolha do setor, buscou-se aprimorar a visibilidade e a rastreabilidade de operações relevantes do processo produtivo da empresa específica. Antes da implementação da tecnologia, a equipe tática enfrentava grandes dificuldades para acompanhar a produção, tanto em relação ao que já havia sido produzido quanto ao que estava em produção. A aplicação da tecnologia visou proporcionar uma maior transparência na produção do setor.

Algumas outras limitações precisam ser consideradas:

- a) Variações sazonais: No caso da empresa em estudo, observa-se que a produção de óculos pode ser afetada por fatores sazonais, como a demanda por estilos específicos ou a variação da procura por óculos de sol. Isso pode influenciar os resultados da pesquisa e tornar difícil determinar se a aplicação de ferramentas da indústria 4.0 estão realmente melhorando o *OEE*;
- b) Complexidade da tecnologia: a indústria 4.0 traz consigo tecnologias complexas, o que pode levar tempo para ser compreendida e implementada de forma eficaz. Um curto período de tempo de pesquisa pode não ser suficiente para avaliar completamente seu impacto sobre o *OEE*;
- c) Mudanças setoriais podem ocorrer devido a uma alteração da visão estratégica da empresa. Tais decisões podem afetar os indicadores analisados no presente estudo.

Estas limitações e delimitações não invalidam o esforço de ampliar a aplicação de conceitos, métodos e tecnologias da Indústria 4.0 em empresas de médio porte. Tendo dito isso, é importante ressaltar que as operações produtivas de cada organização devem ser consideradas quando esta aplicação for feita.

## 1.5 ADERÊNCIA DA DISSERTAÇÃO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UFSC

O presente estudo insere-se no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), mais

especificamente na área de Gestão de Operações, especialmente por sua conexão com duas linhas de pesquisa desta área de concentração: Excelência Operacional e Transformação Digital da Indústria.

A linha de pesquisa em Excelência Operacional se concentra na busca por soluções para maximizar a eficiência e eficácia das operações industriais, tendo como finalidade permitir que as organizações produtivas utilizem estratégias e determinem o melhor uso dos recursos disponíveis, além de atingir produtos perfeitamente adequados à finalidade a que se destinam e em perfeita consonância com princípios de sustentabilidade e preservação ambiental. Portanto, o estudo se encaixa nesta linha, tendo em vista que busca identificar como a utilização das tecnologias da indústria 4.0 pode impactar positivamente a gestão e avaliação da qualidade, resultando em uma melhoria contínua na eficiência e eficácia das operações.

Na linha de Transformação Digital da Indústria, o estudo direciona-se para modelos de gestão de processos, no contexto da Indústria 4.0, com ênfase na integração das tecnologias digitais para melhoria contínua das organizações, tornando a empresa mais competitiva no mercado.

Em resumo, o estudo sobre a “Implantação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 na gestão da qualidade de uma empresa de médio porte” apresenta visível aderência ao PPGEP da UFSC, na área de Gestão de Operações, especialmente por sua relação com as linhas de pesquisa em Excelência Operacional, (tema de pesquisa Gestão e Avaliação da Qualidade) e na linha de pesquisa Transformação Digital da Indústria (tema de pesquisa Gestão da Qualidade nas Indústrias 4.0 e 5.0).

## 1.6 ETAPAS DESENVOLVIDAS NO ESTUDO

Para entender a influência da aplicação de *IoT* no *OEE* e o impacto deste processo nos modelos de Gestão Operacional da Qualidade, Gestão Tática da Qualidade e Gestão Estratégica da Qualidade na empresa estudada, foi necessário seguir etapas definidas para o desenvolvimento do estudo:

- a) Definição dos Objetivos do Estudo: A primeira etapa foi definir claramente os objetivos do estudo;
- b) Revisão Bibliográfica: A segunda etapa foi realizar uma revisão bibliográfica detalhada sobre a aplicação de *IoT*, *Big Data*, Computação em Nuvem, *BI*,

Gestão da Qualidade, Transformação Digital, etc. Isso envolveu a revisão de literatura científica, artigos, relatórios técnicos e documentos relacionados ao tema. A revisão bibliográfica forneceu uma base sólida para o desenvolvimento do estudo;

- c) Metodologia de Pesquisa: A terceira etapa foi definir a metodologia de pesquisa utilizada no estudo;
- d) Planejamento da Ação: A quarta etapa foi definir um plano de ação que descrevesse as atividades que seriam realizadas, os recursos necessários, os métodos de coleta de dados, e os critérios de avaliação;
- e) Implementação da Ação: A quinta etapa foi colocar o plano em prática;
- f) Coleta de Dados: A sexta etapa foi realizar a coleta de dados;
- g) Análise de Dados: A sétima etapa foi analisar os dados coletados. A análise de dados permitiu identificar os principais padrões, tendências e relações entre as variáveis estudadas;
- h) Interpretação dos Resultados: A oitava etapa foi interpretar os resultados obtidos a partir da análise de dados. Isso envolveu a interpretação dos achados em relação aos objetivos propostos e a discussão dos resultados à luz da revisão bibliográfica realizada. A interpretação dos resultados permitiu tirar conclusões relevantes sobre a influência da aplicação de ferramentas da indústria 4.0 no OEE e na qualidade operacional, tática e estratégica da empresa;
- i) Replanejamento: A nona etapa foi onde o plano foi reajustado para buscar uma melhoria da prática, com base na interpretação dos resultados, de maneira cíclica, quantas vezes necessário;
- j) Conclusão: A última etapa do estudo foi onde os achados, reflexões e implicações do estudo foram expostos.

A Figura 2 destaca o esquema das etapas apresentadas para este estudo.

Figura 2 – Fluxograma do Desenvolvimento do Estudo.



Fonte: O autor, 2024.

Embora possa ser visto como um guia para a condução dessa pesquisa, ao longo do desenvolvimento do estudo, surgiram revisões e adaptações no percurso.

## 1.7 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente trabalho envolveu os seguintes tópicos: introdução, referencial teórico, metodologia, a implantação da tecnologia, análise e discussão dos dados e conclusão.

Na Introdução (capítulo 1) foi feito um apanhado geral sobre os principais aspectos do estudo apresentado, como justificativa e os objetivos. No Referencial Teórico (capítulo 2) foram realizadas revisões bibliográficas que focaram em assuntos como: Gestão da Qualidade, Qualidade 4.0, Gestão Operacional da Qualidade, Transformação Digital, Indústria 4.0 e suas ferramentas, *OEE* e *BI (Business Intelligence)*.

Na Metodologia (capítulo 3) explicou-se quais métodos foram utilizados para coletar e analisar os dados que foram apresentados no trabalho. Esta seção está dividida nos seguintes tópicos:

- a) Característica da pesquisa: Descrição do tipo de pesquisa realizada;

b) Contexto da pesquisa e ferramentas utilizadas: Nesse tópico um pouco sobre a empresa em que a pesquisa foi realizada, do setor em questão, além de trazer também informações sobre o software utilizado;

Na Implantação da Tecnologia (capítulo 4) descreveu-se a implantação da tecnologia, os treinamentos e as integrações entre diferentes softwares.

Na Análise e Discussão dos Dados (capítulo 5) são apresentados e discutidos os resultados obtidos, enfatizando suas implicações para a gestão da qualidade. Além disso, a variação do *OEE* e suas variáveis ao longo do período investigado foram avaliadas.

A Conclusão (capítulo 6) consiste na conclusão do estudo, onde são resumidas as descobertas e são oferecidas reflexões finais sobre os resultados obtidos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico, que traz teorias e estudos que fundamentam a investigação realizada. Aspectos relevantes nas áreas de Gestão da Qualidade, Qualidade 4.0, Gestão Operacional da Qualidade, Indústria 4.0, *OEE* e Indicadores de Qualidade e *BI* são abordados visando um melhor entendimento sobre o desenvolvimento deste estudo.

### 2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

Qualidade é um termo bastante complexo mesmo nos dias atuais e, apesar de a palavra ser conhecida por todos, sua definição pode ser bastante peculiar dependendo do produto, serviço, organização ou cliente. Embora o termo Qualidade seja de domínio público, ele se mostra bastante abstrato e dinâmico, sendo que seu significado pode ser entendido como os aspectos mais relevantes para uma determinada organização, ou até mesmo um conjunto de conceitos bem caracterizados que suportam a estrutura e o funcionamento do processo de gestão da qualidade (Paladini, 2019b).

Quando se fala em gestão da qualidade, é importante frisar que conceitos, métodos e ferramentas são termos que frequentemente surgem juntos, mas cada um possui seu papel distinto no processo de melhoramento e manutenção da qualidade. Os conceitos envolvem a formulação de uma ideia por meio de palavras, transformando elementos abstratos, como a cultura organizacional, em aspectos mais tangíveis e gerenciáveis, como as posturas gerenciais. Esta transformação é crucial para que a gestão da qualidade não permaneça no plano teórico, mas seja implementada de forma eficaz e mensurável nas práticas diárias das organizações (Paladini, 2019b).

Os métodos, por sua vez, consistem em etapas intermédias fornecidas por indivíduos ou organizações. Eles não entregam soluções completas, mas sim os recursos necessários para atingi-las. Estruturados por meio de processos e dados estratégicos, os métodos são desenvolvidos por pessoas ou entidades para atender demandas particulares associadas à realização de tarefas humanas, abrangendo o conhecimento e as habilidades essenciais para obter uma performance de excelência (Paladini; Bridi, 2013).

Por último, as ferramentas de qualidade são instrumentos ou técnicas específicas que apoiam a implementação dos métodos de qualidade. Elas são muito práticas e são utilizadas no dia a dia para coletar dados, analisar processos, identificar causas de problemas e monitorar o desempenho (Paladini, 2019b). Uma ferramenta amplamente conhecida e utilizada até os dias de hoje é o diagrama de Pareto, que tem como objetivo identificar os principais problemas relacionados à qualidade. O princípio de Pareto estabelece que, dentre todas as causas dos problemas, poucas são responsáveis pela maior parte dos efeitos indesejáveis. Para facilitar a visualização, esses problemas devem ser representados por meio de um gráfico de barras verticais, ordenadas de acordo com a importância, do maior para o menor (Lins, 1993).

Um conceito de gestão baseado na qualidade bastante conhecido e usado até hoje é a gestão da qualidade total (*Total Quality Management - TQM*), que tem como característica trazer o planejamento da qualidade para o planejamento dos negócios da empresa, ou seja, faz com que a alta gestão da empresa seja também guiada pela qualidade. Dito isso, a *TQM* tem um caminho dividido por três tipos de resultados esperados: os de curto, os de médio e os de longo prazo. Desses caminhos, os resultados de médio e longo prazo são metas que servem como orientação da empresa em geral, já os de curto prazo são atividades como, por exemplo, redução de desperdícios e redução de custos, mantendo um papel fundamental na motivação dos funcionários (Paladini, 2019b).

Para o *TQM*, a definição do nível de envolvimento de cada setor junto com uma estruturação de um fluxo de informações para a gestão da qualidade é muito importante. Por isso, é essencial manter um sistema de avaliação de desempenho com relação aos objetivos, pois assim é possível acompanhar as ações que forem sendo desenvolvidas (Paladini, 2019b). Uma boa maneira de organizar as responsabilidades da gestão de qualidade é dividi-las nos níveis estratégico, tático e operacional. A definição desses aspectos é o primeiro passo para se determinar como a gestão e avaliação da qualidade será feita. Dessa forma, é possível estimar como se deve agir, uma vez que esses processos são marcados pela definição de conceitos, métodos e processos de produção da qualidade e a avaliação das consequências produzidas por essas atividades (Paladini, 2019a). Portanto, pode-se considerar que a avaliação da qualidade busca enfatizar as atividades-fim das organizações, ou seja, os efeitos que são consequência das atividades-meio (Paladini, 2002).

Conforme mencionado anteriormente, a gestão da qualidade deve ser implementada em diferentes níveis de gestão, e para isso existem três definições de níveis: gestão estratégica da qualidade, gestão tática da qualidade e gestão operacional da qualidade. Esses três níveis são definidos a seguir:

- a) Gestão estratégica da qualidade: está relacionada aos referenciais que a organização usa tanto para projetar seu futuro como para definir modelos de relacionamento com o ambiente externo, como no caso da política global da organização e suas diretrizes de funcionamento (Paladini, 2019b). Caracteriza-se por objetivos de longo prazo e ações que impactam a empresa como um todo (Oliveira, 2001). Entre os benefícios dessa gestão estão a definição de relações consistentes com o mercado, a otimização de recursos que podem se tornar diferenciais estratégicos (como a redução de custos e a eliminação de desperdícios), e uma política de qualidade bem determinada, que gera objetividade para a gestão e avaliação da qualidade (Paladini, 2019a).
- b) Gestão tática da qualidade: está ligada aos métodos, ou seja, como os recursos da organização são operados com base nas normas estabelecidas pela gestão estratégica (Paladini, 2019b). O modelo de gestão tática da qualidade os recursos humanos estão envolvidos no esforço pela qualidade, tendo um papel de suporte (Paladini, 2019a). Os resultados dessa gestão são obtidos por meio de um entendimento claro do que deve ser feito e como deve ser realizado, promovendo um gerenciamento baseado em métodos de otimização de recursos, por meio de decisões e procedimentos que racionalizam tempo, energia, trabalho e materiais (Paladini, 2019a).
- c) Gestão operacional da qualidade: refere-se aos procedimentos necessários para aplicação dos métodos (Paladini, 2019b). A política de gestão da qualidade operacional trata da gestão de qualidade do processo e busca melhorar a questão técnica da operação, seja por meio da avaliação do processo produtivo via acompanhamento de desempenho, ou pela substituição de matérias-primas por razões técnicas. Em suma, visa a uma caracterização técnica das ações (Paladini, 2019a).

A abordagem convencional da qualidade, se concentra em duas áreas básicas: a gestão global e a operação. A gestão global tem como objetivo colaborar na

definição de políticas de qualidade pelos altos executivos, enquanto a operação tem a responsabilidade de desenvolver, implementar e avaliar programas de qualidade. A gestão da qualidade é o processo de estabelecer, executar e avaliar essas políticas de qualidade. A definição da política de qualidade é uma responsabilidade da alta gestão, incluindo como a empresa compete no mercado, o nível de tecnologia empregado na produção e o grau de capacitação da força de trabalho (Paladini, 2019b).

Ainda que alocada no nível de alta administração, a definição das políticas da qualidade da organização abrange o esforço da Gestão da Qualidade, uma ação que costuma ser associada à atividade tática da organização. Além disso, a Gestão da Qualidade é responsável por preservar a política da qualidade de forma adequada à realidade do momento, garantindo sua contínua melhoria. Quando o modelo básico de atuação da Gestão da Qualidade estabelecido, são implementadas ações operacionais (Paladini, 2019a).

Ainda segundo Paladini (2019a) a Gestão da Qualidade tem três áreas principais:

- a) A Gestão Técnica da Qualidade trata da ação tática com ênfase técnica e visa estruturar um setor que forneça suporte técnico à produção e avaliação da qualidade. Ela define um modelo básico para avaliar a qualidade de todo o processo produtivo e suas partes, considerando o desempenho individual, planeja ações típicas da qualidade, define responsabilidades pela qualidade em todos os níveis e garante sua divulgação;
- b) A Gestão Integrada de Recursos é a ação tática com ênfase na integração de recursos e busca estruturar um sistema geral de informações para a qualidade, que integra todos os setores da organização. Ela define um modelo de avaliação global da qualidade, seleciona e aloca equipamentos e materiais com base nas especificações técnicas, envolvendo os recursos humanos no esforço pela qualidade, estabelece objetivos e metas da qualidade e acompanha seu progresso e desempenho;
- c) A Gestão Interativa com o Mercado tem características estratégicas e age na avaliação do mercado consumidor, monitora a aceitação do produto no mercado e avalia a satisfação dos clientes, além de acompanhar as tendências de consumo e as ações dos concorrentes para definir um modelo de benchmarking.

A busca pela qualidade tem sido uma constante nas empresas, mas muitas vezes com resultados limitados. Com a chegada da Indústria 4.0, surge uma nova forma de encarar a qualidade, a chamada Qualidade 4.0. No item seguinte, a Qualidade 4.0 será abordada, junto com suas características e os benefícios que seus conceitos e métodos trazem para as organizações.

## 2.2 QUALIDADE 4.0

Os conceitos atribuídos à qualidade vêm evoluindo simultaneamente com a indústria. Em um contexto histórico, podemos dizer que os valores da qualidade mudaram muito no último século. Na 1ª Revolução Industrial, a qualidade era caracterizada pela validação de medidas nas inspeções do produto, o volume da produção era muito mais importante que a sua qualidade e o foco das inspeções não buscavam diminuir os desperdícios da produção já conhecidos do *Lean Manufacturing*.

Na 2ª Revolução Industrial, em termos de qualidade pode-se dizer que o aumento da produtividade continuou a ser o foco principal, prevalecendo uma baixa adesão a padrões de qualidade minimamente aceitáveis. É importante ressaltar que a qualidade financeira da indústria era medida com base na sucata e o desempenho do trabalho era usado para medir a produtividade. Na 3ª Revolução Industrial a qualidade passou a ser algo fundamental, onde entender a necessidade e a satisfação do cliente é imprescindível. Aqui, o *Lean Manufacturing* começa a ser aplicado e ganhos na produtividade ocorrem devido à alta estabilidade, eficiência dos processos, padronização do trabalho e o envolvimento de todos os trabalhadores em atividades que agregam valor e qualidade (Watson, 2019).

Atualmente junto com a indústria, a qualidade também vem passando por mudanças. Com a 4ª Revolução Industrial, surgiu o conceito de Qualidade 4.0, que possui características como a digitalização da produção, que tem sido um meio de ajustar o processo e otimizar as respostas das mudanças, além de outras particularidades como o foco da engenharia de processo, que passou a ser orientado a partir do trabalho dos operadores do processo para os engenheiros de processo, ou seja, as mudanças das atividades de níveis táticos surgem de informações dos procedimentos (Watson, 2019).

Para o *Juran Institute* (2019), a Qualidade 4.0 reflete um alinhamento de práticas entre a gestão da qualidade e as tecnologias disruptivas da Indústria 4.0. Esse novo conceito de qualidade possui vários componentes e alguns deles serão utilizados neste trabalho:

- a) Dados: Fator que sempre foi importante na qualidade, mas com a Indústria 4.0 a visualização e análise de dados passaram a ser em tempo real, de modo a analisar prontamente como está o desempenho da produção, dos equipamentos ou até dos fornecedores;
- b) Análise: Tecnologias como *Big Data*, Inteligência Artificial e Aprendizado de máquinas trouxeram uma possibilidade analítica de prever o que irá acontecer, como, por exemplo, se uma máquina está com algum problema e quando ela irá parar;
- c) Conectividade: Se refere a possibilidade de conectar pessoas, máquinas e produtos por meio de *gadgets* e sensores relativamente baratos para obter *feedbacks* rapidamente;
- d) Desenvolvimento de aplicativos: Os aplicativos são uma maneira de manter a conexão entre funcionários e *stakeholders*, ou de marcas se conectarem com clientes;
- e) Amplitude de escala: Uma ferramenta da Indústria 4.0 para melhorar o problema que empresas têm com a fragmentação das fontes de dados é a computação em nuvem, seja em formato de *Software as a Service (SaaS)*, *Plataform as a Service (PaaS)* ou *Infrastructure as a Service (IaaS)*;
- f) Sistema de gestão: Um dos pontos de muito sucesso na Indústria 4.0 é a capacidade de integrar sistemas de gestão com os sistemas de operação, automatizando processos e diminuindo o tempo gasto de gestores com tarefas triviais;
- g) Cultura: Termo que sempre foi muito importante na qualidade, porém a Indústria 4.0 trouxe consigo a possibilidade de conectar dados, análises e processos, de modo a aumentar a visibilidade, percepção e colaboração, trazendo uma verdadeira cultura da qualidade para toda a organização.

A abordagem do *Juran Institute* (2019) fornece uma visão valiosa sobre como as empresas podem melhorar seus processos e produtos por meio da migração de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, *IoT* e *Big Data* para o dia a dia das empresas.

Para implantar a Qualidade 4.0 com sucesso, é necessária uma gestão operacional da qualidade eficiente, que envolva a definição de processos e procedimentos claros, a capacitação dos colaboradores envolvidos, a adoção de ferramentas tecnológicas para monitoramento e análise de dados e a melhoria contínua dos processos de qualidade. Nesse sentido, a gestão operacional da qualidade é fundamental para garantir a efetividade da Qualidade 4.0 nas empresas.

### 2.3 GESTÃO OPERACIONAL DA QUALIDADE

A teoria da produção busca um modelo de processo que possa descrever as operações executadas por cada trabalhador ou equipamento e o fluxo de materiais, que é movido e transformado de forma progressiva em cada centro de trabalho até que a matéria prima se transforme em produto acabado (Shingo, 1996). É possível dizer que a produção busca a satisfação dos consumidores por meio de alguns fatores, como as tarefas de manufatura realizadas pelos seus recursos, o controle da qualidade e o planejamento da produção. Por ser uma área de elevado custo, devido ao grande número de funcionários e recursos necessários para a realização da transformação da matéria prima em produto acabado, a gestão operacional da qualidade costuma ser um dos pontos que agrega maior valor para uma empresa (Cruz, 2020).

A partir dessas definições é possível dizer que um sistema de produção procura dar suporte ao processo de manufatura com o auxílio de uma série de atividades realizadas para gerenciar a produção, como o suporte à cadeia de suprimentos, controle da qualidade, manutenção e diversas outras atividades que se alinham com as funções táticas da empresa. Quando falamos em funções táticas nos referimos às atividades de suporte, que dão ênfase à cultura organizacional. De acordo com Paladini (2019a), a função tática “trata-se da função associada a uma área técnica que, em última análise, viabiliza a política da qualidade da empresa em termos de envolvimento de pessoas e das demais operações do processo produtivo” (p. 70).

Como uma área de extrema importância para as empresas em sua visão estratégica – que busca um melhor entendimento com o mercado, tornando-se mais competitiva e melhorando sua qualidade –, a Gestão Operacional da Qualidade vem evoluindo bastante e tem recebido investimentos significativos em automação,

treinamentos, tecnologias da informação e outras infraestruturas. Tudo isso para melhorar o desempenho das companhias e torná-las mais competitivas no mercado, posto que a qualidade dos produtos oferecidos está diretamente ligada à satisfação de seus clientes (Silva *et al.*, 2006).

## 2.4 A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é uma revolução que busca desenvolver redes inteligentes, promovendo a conexão de máquinas e ativos, gerando ambientes industriais flexíveis e auto ajustáveis à crescente demanda por produtos cada vez mais personalizados. Esse termo propõe a adoção de dispositivos inteligentes capazes de controlar e rastrear todos os processos ao longo da cadeia produtiva, a partir de um sistema integrado em toda a fábrica (Hahn, 2016). Essa interconectividade contribui para a criação de novos conceitos operacionais e controles inteligentes que têm facilitado diagnósticos de manutenção e operação.

Na literatura, são apresentadas diversas definições da Indústria 4.0. Bouchard *et al.* (2022) a descrevem como a interconexão de tecnologias emergentes, visando aumentar a agilidade dos sistemas e processos industriais existentes para atender às demandas cada vez mais dinâmicas. Terra (2022), por sua vez, a define como uma política estratégica adotada por países e organizações, destinada a impulsionar o desenvolvimento por meio do uso de tecnologias e dados, promovendo mudanças significativas nos processos produtivos, acrescentando valor a produtos e serviços e rompendo com os padrões e modelos estabelecidos. Já Park e Bae (2022) oferecem uma perspectiva mais específica, argumentando que a Indústria 4.0 abarca avanços tecnológicos como internet das coisas, inteligência artificial e *big data* com o objetivo primordial de impulsionar a produtividade e eficiência dos processos.

De acordo com Jazdi (2014), algumas das características das fábricas digitais são: (1) ter uma rede inteligente com um sistema e equipamentos automatizados que suportam controle inteligente; (2) ter dispositivos móveis como *tablets* e *smartphones* integrados ao seu sistema, fornecendo acesso aos processos e serviços; (3) ter flexibilidade tanto na área da manutenção como na operação da produção. A Indústria 4.0 trouxe consigo um termo conhecido como Produção Inteligente (*Smart Production*) que se refere à conexão de subsistemas digitalmente integrados para alcançar uma

rede interconectada que melhora o desempenho da produção, trazendo uma capacidade de adaptação e agilidade na tomada de decisões (Wang, 2020).

Desse modo, a Indústria 4.0 não é representada apenas pela utilização de máquinas inteligentes e conectadas; existem áreas que vão desde energias renováveis até a computação quântica. A 4ª Revolução Industrial é a incorporação em larga escala de tecnologias digitais e, para que isso se torne realidade, é necessário que ela seja implantada de maneira gradual, por meio de tecnologias emergentes, aumentando a informatização e comunicação direta entre sistemas e máquinas.

Embora alguns autores discordem sobre o número de pilares que a Indústria 4.0 possui, este estudo será informado pelos trabalhos de que citam nove pilares: (1) manufatura aditiva, (2) *IoT*, (3) integração de sistemas vertical e horizontal, (4) robôs autônomos, (5) segurança cibernética, (6) realidade aumentada, (7) simulação, (8) nuvem e (9) *Big Data*. A seguir, serão analisados os nove pilares, de acordo com o mapeamento da literatura sobre as tecnologias feito por Falani *et al.* (2020).

O primeiro pilar, manufatura aditiva, é caracterizado pela aplicação de *software* e *hardware* específicos, capazes de fabricar objetos por meio da adição de material, camada por camada, a partir de um modelo digital tridimensional. Este equipamento é popularmente conhecido como impressora 3D. O objetivo dessa tecnologia é tornar a fabricação de protótipos e produtos mais rápida e barata.

O segundo, *IoT* (*Internet of Things*), corresponde a objetos físicos que passam a ser portadores de dispositivos capazes de conexão e comunicação, sem que haja influência humana. Essa comunicação é fruto do uso de sensores de radiofrequência e atuadores, que cooperam com componentes e dispositivos vizinhos. Com isso, é possível exercer um maior nível de observação e inferências, feitas a partir de dados dos vários dispositivos conectados. O objetivo é que essa intercomunicação deixe os objetos mais eficientes e capazes de executar atividades complementares.

A integração de sistemas horizontal e vertical, terceiro pilar aqui apresentado, consiste na comunicação e na cooperação automatizada em toda a cadeia de produção, com o intuito de criar e organizar uma plataforma de gerenciamento. Esses sistemas poderão estar integrados inclusive em redes de diferentes empresas, o que pode possibilitar uma maior automação.

Em relação ao quarto pilar, é importante ressaltar que os robôs já fazem parte da indústria há algum tempo. O que os robôs autônomos representam é uma certa independência, tornando-os mais flexíveis e cooperativos, podendo estes trabalharem

ao lado de humanos de forma segura, possibilitando-os completar tarefas de maneira inteligente e precisa dentro de um determinado intervalo de tempo.

Segurança cibernética, o quinto pilar, se mostra necessário, uma vez que uma maior conectividade das empresas demandará uma maior proteção dos sistemas industriais contra-ataques cibernéticos, o que impulsiona a criação de novas tecnologias para esse fim, resultando em uma indústria com comunicações seguras e confiáveis.

O sexto pilar é a realidade aumentada, que visa facilitar o desenvolvimento de procedimentos de trabalho, fornecendo aos usuários informações em tempo real, tornando mais fácil e assertiva a tomada de decisões.

As simulações das operações de fabricação utilizando informações obtidas por meio dos dados da empresa podem auxiliar na tomada de decisões, o que nos direciona ao sétimo pilar, que é a simulação, que pode incluir máquinas, produtos e seres humanos, além da otimização dos processos de produção, que poderão ser decididos a partir dos testes feitos nos modelos virtuais.

A efetividade da informação pode ser elevada por meio de compartilhamento de dados, sendo que a análise desses dados poderá contribuir para ganhos em desempenho. Assim, o oitavo pilar corresponde à nuvem, que consiste em máquinas virtuais capazes de enviar informações para uma gama de dispositivos em qualquer lugar, desde que tenham acesso à internet.

O nono e último pilar é o *Big Data*, que é o resultado de uma coleta de dados de todo o sistema operacional por meio de leitura de sensores e outros dispositivos que estejam coletando informações da produção. Esses dados apresentam um grande volume e excedem a capacidade de processamento dos sistemas de banco de dados tradicionais. O objetivo é que, com a utilização do *Big Data*, seja possível realizar a manipulação de dados extraindo valor ao meio aplicável. A Figura 3 mostra uma representação da indústria 4.0 e seus pilares.

Figura 3 – Pilares da Indústria 4.0.



Fonte: Adaptado de Rübmann *et al.* (2015).

Embora a Indústria 4.0 comporte uma gama de pilares diferentes, será feita uma análise mais detalhada dos assuntos que servirão de base para este estudo: Transformação Digital, ERP, MES, IoT, Big Data e Computação em nuvem.

#### 1.4.1 Transformação Digital

A Transformação digital é um conceito que se relaciona com inúmeras atividades corporativas que visam fortalecer a competitividade do negócio frente às mudanças geradas pela adoção de tecnologias digitais (Kim; Ha, 2023). Esse conceito aborda uma série de aplicações de tecnologias em toda a cadeia de valor de uma

organização, permitindo a comunicação entre processos, máquinas, produtos e pessoas em tempo real (Kaltenbach *et al.*, 2018).

Existe uma série de práticas e características sobre o processo da transformação digital, como a visão e estratégia digital que miram nos objetivos que a organização pretende alcançar com a adoção de tecnologias digitais. O desenvolvimento de habilidades digitais é também crucial, pois os colaboradores necessitam de competências necessárias para lidar com esses desafios. Além disso, características como a implementação de sistemas ágeis e inovadores, cibersegurança, integração, conexão de ferramentas digitais e o uso dos dados de forma estratégica se fazem necessários (Gamache *et al.*, 2018).

Na busca por melhorias em eficiência, a transformação digital da indústria direciona sua atenção desde os processos físicos de produção até o gerenciamento dos dados envolvidos (Gölzer e Fritzsche, 2017, *apud* Terra, 2022). Uma das características dessa transformação é a capacidade de monitoramento em tempo real, permitindo tomadas de decisões ágeis e respostas rápidas a possíveis problemas operacionais. Essa agilidade resulta em melhorias significativas na eficiência de sistemas produtivos e máquinas (Pires *et al.*, 2018). Oliveira (2020) traz em seu estudo de caso dados que mostram que a digitalização da produção trouxe diversos benefícios, como acesso a dados em tempo real, transparência nos dados, otimização de processos e redução de tarefas.

Porém, existem desafios importantes quanto ao desenvolvimento de recursos humanos na digitalização, destaca-se a necessidade de programas de treinamento que abordem não apenas o uso de tecnologias específicas, mas também o desenvolvimento de competências metodológicas e a capacidade de avaliar a eficácia e a precisão das atividades de medição e análise aplicadas (Saniuk *et al.*, 2023). Para Büth *et al.* (2018) um dos maiores desafios da digitalização é que o funcionário tende a aprender apenas como se opera o *software*, mas não como agir perante as informações.

Para atender à essa demanda, Büth *et al.* (2018) cita que um treinamento para lidar com essa transformação digital deveria ter três etapas, uma preparando para as mudanças que as tecnologias irão trazer, explicando sobre conhecimentos teóricos relacionado a processamentos de dados e visualização, uma segunda etapa que seria um treinamento conceitual, focando em tópicos como eficiência na manufatura e uma terceira etapa o ensino sobre o *software* e os *hardwares* utilizados.

Outro desafio que pode vir a acontecer é em relação a implantação de um método de aquisição dos dados das máquinas, isso porque algumas máquinas mais antigas podem não possuir um protocolo de comunicação com a *IoT* (Oliveira, 2020). Um estudo de caso realizado por Oliveira Júnior *et al.* (2024) evidenciou que digitalização no contexto da indústria resultou em uma redução no tempo necessário para realizar apontamentos, acelerou o fluxo de informações, melhorou a precisão dos registros, possibilitou o acompanhamento histórico da produção e permitiu a implementação rápida de ações corretivas.

A adoção de tecnologias digitais possibilita às empresas explorar novas oportunidades de inovação, colaboração e geração de valor ao longo de toda a cadeia de suprimentos. No entanto, para aproveitar ao máximo as vantagens da transformação digital, é fundamental adotar uma abordagem abrangente que considere não apenas os desafios tecnológicos, mas também os aspectos organizacionais, culturais e regulatórios (Adama *et al.*, 2024).

Apesar da possibilidade de melhorias significativas, a digitalização e o uso de tecnologia têm demonstrado ocorrer de forma mais lenta para pequenas e médias empresas do setor industrial. Embora alguns *softwares* como o *ERP* (que será explicado a seguir) sejam amplamente utilizados, sua integração com *softwares* como o *MES* ainda não é muito aplicada.

#### **1.4.2 ERP (Enterprise Resources Planning)**

OS Sistema *ERP* (*Enterprise Resources Planning*) é um *software* que desempenha um papel crucial na gestão eficiente e competitiva das organizações. Ao fornecer rastreabilidade e visibilidade das informações em todos os setores da empresa, o *ERP* se destaca como uma ferramenta indispensável para a integração de sistemas internos. Essa integração promove uma interface entre os diversos departamentos, facilitando a comunicação e a troca de dados (Oliveira, 2022).

Em sua essência, um *ERP* é apresentado como uma ferramenta que utiliza recursos computacionais para aprimorar a eficiência operacional das empresas. Isso se concretiza por meio da melhoria da qualidade dos dados e no fluxo de informações, além da padronização e organização dos processos internos. Ao oferecer um conjunto de funcionalidades integradas, esses sistemas se apoiam em um banco de dados

centralizado, unificando dados e facilitando o acesso rápido às informações relevantes (Sousa, 2014).

O *ERP* não é apenas uma ferramenta isolada, mas sim um instrumento estratégico voltado para aprimorar a gestão empresarial. Sua essência reside na integração de processos, na disponibilização de informações e no compartilhamento eficiente desses dados dentro da organização (Sousa, 2014).

### **1.4.3 MES (Manufacturing Execution System)**

O Sistema *MES (Manufacturing Execution System)* é uma ferramenta utilizada no chão de fábrica, seu objetivo é realizar o apontamento dos dados de produção, facilitando as tomadas de decisões (Oliveira, 2022). Além disso, o *MES* fornece informações sobre as condições de produção. Comunicando-se com o *ERP*, o *MES* desempenha o papel de integrar as áreas administrativas com as operações do chão de fábrica (Ugarte *et al.*, 2009). Ou seja, sendo uma ferramenta mediadora, ele desempenha um papel importante na gestão das atividades críticas do processo produtivo, além de facilitar a integração entre o *ERP* e os registros de produção (Oliveira, 2022).

Para implantar um *MES* existem algumas boas práticas a se seguir, como as 5 etapas citadas por Govindaraju e Putra (2016):

- a) Avaliação Inicial: definir adequadamente o escopo do projeto e a extensão das mudanças provocadas pela implementação do *MES*;
- b) Design: identificação das funcionalidades do sistema *MES* e das interfaces entre *MES/ERP*;
- c) Configuração e testes: Os módulos do *MES* são configurados, construídos e testados de acordo com as especificações de design aprovadas. A migração de dados e os testes de sistema são realizados nesta fase;
- d) Implantação: Nesta etapa, são realizados os preparativos finais para a transição do sistema. Treinamentos são fornecidos, o planejamento de corte é desenvolvido e atividades de resolução de problemas são executadas antes da operação do novo sistema;
- e) Operação: Após a implantação, o novo sistema é colocado em operação.

A conexão entre a linha de produção e as atividades táticas é crucial, pois a partir da coleta de dados em tempo real e da visualização dos dados, o processo de

tomada de decisão torna-se mais assertivo. Outro ponto importante dessa ferramenta é a capacidade de se conectar com outras tecnologias, o que traz a possibilidade de visualizar, analisar, comparar, e propor ações que melhorem seus resultados (Vargas; Sellito, 2016).

Resumindo, o sistema coleta os dados e os processa, fornecendo uma análise capaz de auxiliar na a tomada de decisões. Os dados fornecidos pelo *MES* abrangem a performance dos processos, a qualidade do produto e a disponibilidade das máquinas (Ugarte *et al.*, 2009). Recentemente, com a indústria 4.0, surgiu o termo *MES 4.0* onde, por meio das tecnologias da indústria 4.0, busca-se um *MES* mais moderno, com a possibilidade de obter informações da produção em tempo real e facilitar o controle da produção, melhorando a eficiência operacional (Tariq *et al.*, 2024).

#### **1.4.4 *IoT (Internet of Things)***

Na segunda revolução industrial o sistema produtivo era administrado de modo analógico. Na terceira, pode-se observar o crescimento da automação. Porém, foi com o avanço da tecnologia da informação que foi possível potencializar as tomadas de decisões por meio da coleta e armazenamento de dados. Assim, o avanço da tecnologia da informação abriu as portas para a 4ª Revolução Industrial e, com isso, para a *IoT* (Cruz, 2020).

O termo *IoT* apareceu pela primeira vez em uma apresentação de Kevin Ashton, onde ele falava sobre a identificação de objetos na cadeia de suprimento por radiofrequência. A partir disso, a ideia de integrar objetos físicos com a internet vem se tornando cada vez mais frequente, aumentando assim a coleta de dados, que depois de tratados e analisados, têm um grande potencial de agregar valor utilizando as informações obtidas para otimizar processos (Albertin; Pontes, 2021). A *IoT* trouxe, por meio da utilização de sensores na produção, diversos elementos positivos para a eficiência, como uma maior velocidade e uma produção com menos oscilações em seus processos (Wang, 2020).

Para Pacchini (2019), a *IoT* tem a finalidade de coletar e trocar dados de dispositivos ou de objetos conectados com sensores, ou seja, é uma tecnologia que conecta objetos na internet dando a habilidade de compartilhar seus dados com outras máquinas ou com ambientes internos e externos da corporação. Para Poór *et al.*,

(2019) os dispositivos ligados a *IoT* devem requerer mínima ou até nenhuma intervenção humana para trocar, coletar e gerar dados. Entretanto, esses dispositivos têm uma característica em comum que é a capacidade de coleta, análise e gerenciamento de dados.

O decreto número 9.854 de 25 junho de 2019, faz alusão ao Plano Nacional de Internet das Coisas, e traz no art. 1 a finalidade de implementar e desenvolver a *IoT* no país, com base na livre concorrência e na livre circulação de dados. No art. 2 deste decreto há algumas definições importantes sobre *IoT*:

- a) Internet das coisas – a infraestrutura que integra a prestação de serviços de valor adicionado com capacidades de conexão física ou virtual de coisas com dispositivos baseados em tecnologias da informação e comunicação existentes e nas suas evoluções, com interoperabilidade;
- b) Coisas – objetos no mundo físico ou no mundo digital, capazes de serem identificados e integrados pelas redes de comunicação;
- c) Dispositivos – equipamentos ou subconjuntos de equipamentos com capacidade mandatória de comunicação e capacidade opcional de sensoriamento, de atuação, de coleta, de armazenamento e de processamento de dados;
- d) Serviço de valor adicionado – atividade que acrescenta a um serviço de telecomunicações que lhe dá suporte e com o qual não se confunde novas utilidades relacionadas ao acesso, ao armazenamento, à apresentação, à movimentação ou à recuperação de informações, nos termos do disposto no art. 61 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997.

A *IoT* busca solucionar problemas de atraso de coleta de dados, lentidão no acesso às informações, espera no recebimento de uma resposta e a demora na atualização do sistema (Teimoury *et al.*, 2013). Na indústria, a *IoT* faz com que seja possível monitorar equipamentos em tempo real e qualquer lugar, ao mesmo tempo que ele também possibilita medir e obter informações sobre processos produtivos, de modo que seja possível analisá-los e torná-los mais eficientes. A *IoT* apoia a análise e o aprendizado, para que seja possível identificar as possibilidades de melhoria (Albertin; Pontes, 2021). Além disso, a *IoT* pode ajudar a melhorar o tempo de ciclo e os custos de produção, além de permitir a integração de outras ferramentas digitais de modo que proporciona a integração horizontal e vertical engajando os sistemas digitais com o mundo físico e ampliando a cadeia de valor (Björklöf; Castro, 2022).

### 1.4.5 *Big Data*

Outro pilar da Indústria 4.0 é o *Big Data*, que se resume a uma incontrolada expansão de dados que podem possuir uma grande capacidade intelectual. Contudo, para isso, é necessário que os dados passem por certo tratamento de modo a transformar esses elementos em informações que agreguem valor aos negócios e às estratégias das organizações, minimizem riscos e apoiem o processo de tomada de decisões (Vianna *et al.*, 2016).

Com a expansão da tecnologia *IoT* na indústria, o volume de dados adquiridos no chão de fábrica aumentou muito, pois estes são coletores de múltiplas fontes de dados. Esse grande volume de dados heterogêneos trouxe a necessidade de processamento e armazenamento muito diferentes dos modelos conhecidos anteriormente, o que colaborou para o surgimento do *Big Data* (Björklöf; Castro, 2022).

O *Big Data* é geralmente associado a cinco características principais, conhecidas como os “5 Vs”:

- a) Volume: refere-se à grande quantidade de dados e ao seu crescimento exponencial;
- b) Velocidade: refere-se ao tempo em que os dados são capturados, processados e utilizados;
- c) Variedade: reflete as diversas fontes de dados;
- d) Veracidade: relaciona-se à confiabilidade dos dados e a sua capacidade de gerar informações úteis (Ishwarappa; Anuradha, 2015);
- e) Valor dos dados: indica que as informações obtidas devem gerar valor para a empresa.

Outros autores dizem ainda que o *Big Data* deve ter 7 características, acrescentando ainda:

- f) Vulnerabilidade: onde as informações geradas não devem ser vulneráveis a ataques cibernéticos;
- g) Visualização dos dados: os dados devem ser facilmente visualizados em gráficos com auxílio de software específico (Khan *et al.*, 2014).

Existem várias fontes capazes de gerar dados, como redes sociais, mídia, *Data Warehouse*, sensores, e atualmente a tecnologia nos permite capturar esses dados em uma velocidade impressionante. Porém, o *Big Data* não é apenas um acúmulo de muitos dados, pois ele reflete uma prática de acessar novas informações

com esses dados, uma habilidade que torna as empresas mais ágeis e competitivas (Oliveira Júnior; Schimiguel, 2019).

A indústria também tem uma grande oportunidade com o *Big Data*: ao invés de utilizar os dados para confirmar as decisões já tomadas, o *Big Data* poderá encontrar padrões de comportamento e identificar novas oportunidades para o futuro como, por exemplo, aumentar a eficiência produtiva por meio da análise de dados obtidas, otimizando o consumo de recursos, aumentando a qualidade e desempenho dos processos e a própria qualidade (Albertin; Pontes, 2021).

Com o intuito de facilitar a análise do *Big Data*, pode-se utilizar ferramentas auxiliares como, por exemplo, a computação em nuvem, que será apresentada a seguir.

#### **1.4.6 Computação em Nuvem**

A computação em nuvem vem se tornando popular na maioria das empresas, pois ela traz consigo soluções estratégicas recorrendo a vários recursos disponibilizados na internet, como o armazenamento em nuvem. Esse recurso habilita empresas terceiras a fazerem a hospedagem e o gerenciamento de arquivos diversos que normalmente, sem esse serviço, ficariam em dispositivos locais. Tal serviço permite que informações possam ser acessadas de qualquer lugar do mundo via internet, havendo economia de custos, pois não é necessário gastar com infraestrutura ou cyber segurança, economia de espaço, pois não há necessidade de servidores físicos dentro da empresa, e economia de tempo, pois há redução nas causas de falhas de *hardware* (Oliveira Júnior; Schimiguel, 2019).

Na Indústria 4.0 os benefícios da computação em nuvem são muitos. Além de não precisar adquirir infraestruturas computacionais, também não se torna necessário a instalação e o gerenciamento de *softwares*. Essa ferramenta tem a capacidade de integrar toda a cadeia de produção por meio da conexão de equipamentos e tornar os processos muito mais velozes, eficientes e confiáveis. Por meio da nuvem e da *IoT*, a análise do *Big Data* é facilitada, uma vez que é possível tratar os dados com ferramentas disponíveis na nuvem de modo a facilitar a identificação de padrões e correlações que geram ideias e benefícios na indústria (Albertin; Pontes, 2021).

A Figura 4 apresenta uma visão da nuvem e como ela pode se conectar com diferentes dispositivos, fixos e móveis.

Figura 4 – Visão geral de uma nuvem computacional.



Fonte: Sousa *et al.*, 2010.

#### 1.4.7 Cadeia de Valor de Dados - *Data Value Chain (DVC)*

Com a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 como a Nuvem, o *Big Data* e o *IoT*, se abriu espaço para um novo tipo de cadeia de valor, que é diferente da já conhecida cadeia de valor do *Lean Manufacturing*, pois utiliza os dados como sua principal fonte de valor. A cadeia de valor dos dados ou *Data Value Chain (DVC)* tem o objetivo de obter informações valiosas do chão de fábrica a partir dos dados coletados e processados de forma a se tornarem dados estruturados, podendo, com essas informações, melhorar algum processo produtivo (Björklöf; Castro, 2022).

A *DVC* possui algumas fases antes da obtenção do seu valor. Ela começa na fonte de dados e coleta, e os dados podem ser coletados de inúmeras fontes, sejam eles de máquinas ou de colaboradores, mas a ideia geral é a coleta de dados por meio da *IoT*, de modo que esses dados possam ser usados para medir e monitorar em tempo real a produção. Após realizar a coleta, é preciso fazer um pré-processamento dos dados, pois na maioria das vezes os elementos obtidos na coleta não são dados estruturados, o que pode afetar a qualidade deles, uma vez que estes podem parecer redundantes sem um tratamento inicial.

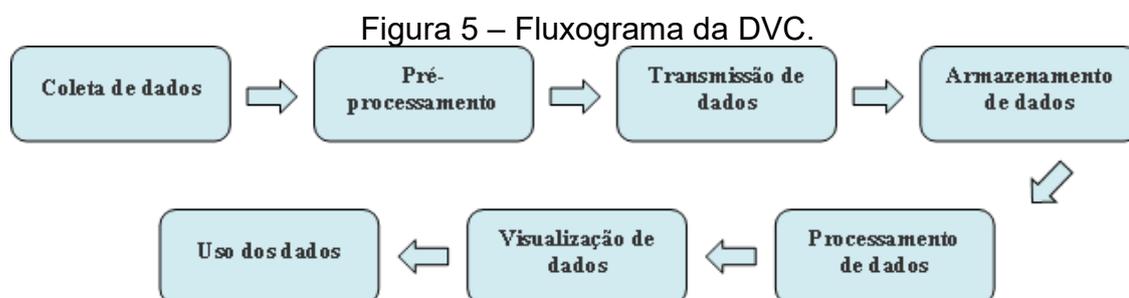
Outro motivo para fazer o pré-processamento está relacionado ao armazenamento; dados não processados ocupam muito espaço, por isso é importante que, antes de armazená-los, seja feita uma limpeza, qualificação e melhoria dos dados brutos (Faroukhi *et al.*, 2020a; 2020b). Na sequência, uma fase muito importante é a transmissão de dados, que é um fator essencial para a *DVC*. O fluxo intenso de dados é feito dentro de uma plataforma da *IoT* e a transmissão desses dados é que conecta

as fontes de dados ao armazenamento, além de conectar os dados entre pontos de controle (Wan *et al.*, 2016).

O armazenamento dos dados é considerado a quarta fase dessa cadeia de valor, onde eles podem ser armazenados de maneiras diferentes, sendo a primeira contendo dados não estruturados como imagens, áudios ou vídeos. A segunda maneira é de dados semiestruturados, como gráficos ou documentos em XML. A última é o armazenamento estruturados, como os dígitos, símbolos ou tabelas.

Para utilizar os dados coletados, é preciso que eles passem por uma série de tratamentos, procurando por correlações entre eles - essa etapa é chamada de processamento de dados. O processamento pode ser descritivo de modo que busque trazer informações valiosas sobre o passado; prescritivo, que é uma análise que faz sugestões para etapas futuras; preditivo, que fornece previsões sobre processos produtivos para auxiliar na tomada de decisões; e por último, diagnósticos, que fornecem informações sobre o desempenho da produção e como as metas foram alcançadas ao analisar o passado da produção (Tao *et al.*, 2018; Faroukhi *et al.*, 2020a; 2020b).

Para tornar os dados mais acessíveis, utiliza-se a visualização de dados por meio de ferramentas como gráficos e diagramas, visando obter uma representação dos dados de modo que não sejam perdidas informações importantes por estarem escondidas em grandes tabelas ou bancos de dados (Faroukhi *et al.*, 2020b). Por último, utiliza-se a fase do uso de dados, que é relacionada à maneira como os dados podem ser usados no processo de produção para tornar as empresas mais competitivas. Essa etapa pode ser feita por meio do monitoramento dos processos em tempo real, buscando um melhor controle e a melhoria da qualidade do produto (Tao *et al.*, 2018). A Figura 5 demonstra todas essas fases descritas acima.



Fonte: Adaptado de Björklöf; Castro, 2022.

#### 1.4.8 Softwares para aplicação de *IoT*

Com o crescimento da *IoT*, cresceram também novas aplicações para aumentar o valor dos dados para a indústria. Lee e Lee (2015) citam três categorias de aplicações de *IoT* para empresas, sendo a primeira de monitoramento e controle, a segunda sobre *Big Data* e análise empresarial, e a terceira sobre compartilhamento de informação e colaboração:

- a) Monitoramento e controle: sistemas coletam dados de desempenho do equipamento, condições ambientais (como temperatura, pressão e umidade) e consumo energético. Esse tipo de aplicação permite que o desempenho dos equipamentos possa ser acompanhado em tempo real de qualquer lugar do mundo, a qualquer momento;
- b) *Big Data* e análise empresarial: equipamentos com sensores geram uma grande quantidade de dados e, para analisar isso, existem ferramentas para tratar esses dados para que se tornem informações a serem utilizadas pelos gestores na tomada de decisão;
- c) Compartilhamento de informação e colaboração: A colaboração de informação em equipamentos de *IoT* podem acontecer entre pessoas e coisas, apenas entre pessoas e apenas entre coisas; para isso são necessárias ferramentas que viabilizem esse compartilhamento de informações.

Considerando o exposto, pode-se afirmar que a Indústria 4.0 representa uma revolução tecnológica que está transformando a forma como a indústria opera e se desenvolve. Por meio da aplicação *IoT*, *Big Data*, Cadeia de Valor de Dados e *Software* específico para *IoT*, as empresas estão se beneficiando de maior automação e tomada de decisão baseada em dados.

## 2.5 EFICIÊNCIA GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS – *OEE*

O *OEE*, ou índice de eficiência global dos equipamentos, é uma ferramenta que mensura as perdas de eficiência em um equipamento, setor ou fábrica. Esse índice é originário da metodologia Manutenção Produtiva Total e cobre toda a vida útil do equipamento, desde o planejamento, fabricação e manutenção, buscando identificar importantes custos na empresa (Horst, 2012).

A manutenção produtiva total - *Total Productive Maintenance (TPM)*, é um programa de produção que busca uma estratégia para reduzir custos e melhorar a eficiência da gestão operacional da qualidade. Essa técnica busca diminuir as quebras e os defeitos da produção de modo a aumentar o desempenho da produção, pois quanto menor for o número de manutenções corretivas, melhor será o resultado do indicador de disponibilidade de uma máquina.

A mesma coisa pode se dizer quanto ao refugo, isto é, se o número de refugo diminuir, maior será o indicador de qualidade. Com isso, os custos da produção também são reduzidos, pois com uma disponibilidade maior e menos refugo, os estoques podem ser diminuídos, horas extras podem ser evitadas e a capacidade de produção aumentada (Nakagima, 1988; Levitt, 2010).

A implementação da *TPM* vai muito além dos operadores do Chão de Fábrica, pois para que essa metodologia funcione, é necessário que outros setores também a implementem, fazendo com que todos os empregados tenham essa metodologia como cultura, do gerente aos engenheiros e operadores. Desse modo é possível melhorar a eficiência em diversos aspectos, pois ela diminui quebras, minimiza problemas de qualidade, reduz manutenções não planejadas, melhora a produtividade e aumenta a vantagem competitiva (Nakagima, 1988).

Esses custos que a *TPM* busca diminuir, ocorrem devido às perdas de produtividade. Assim, existem 6 grandes perdas em um processo produtivo: (i) falha de equipamento por quebra; (ii) troca ou ajuste de ferramentas (*setups*); (iii) ociosidade ou micro paradas; (iv) baixo desempenho de produção (velocidade); (v) refugo ou retrabalho; e (vi) demora para a estabilização da produção. O *OEE* é utilizado para medir essas perdas e o indicador é calculado a partir da razão entre seus três pilares: a disponibilidade, a desempenho e a qualidade, sendo que esta última é relacionada ao refugo e retrabalho (Nakagima, 1988).

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

A disponibilidade de um equipamento está relacionada a todos os momentos em que acontecem paradas não programadas. Ela mede o tempo perdido pela inatividade do equipamento como, por exemplo, uma manutenção corretiva, uma troca de ferramenta, ou até mesmo um atraso de um operador. Qualquer episódio que leve

o equipamento a ficar parado por um momento considerável acarretará na queda do indicador da disponibilidade (Somensi, 2022; Björklöf; Castro, 2022).

$$\text{Taxa de Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo programado} - \text{Tempo Inativo}}{\text{Tempo Programado}} \times 100 \quad (2)$$

Sendo que:

$$\text{Tempo Programado} = \text{Tempo total} - \text{Tempo de paradas planejadas} \quad (3)$$

A variável chamada performance mede a perda de velocidade devido a pequenas paradas (micro paradas) ou velocidade reduzida. Sendo assim, a performance é medida por meio da relação entre o tempo de ciclo ideal e o tempo de ciclo real do equipamento (Somensi, 2022; Björklöf; Castro, 2022).

$$\text{Taxa de Performance} = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Quantidade de peças produzida}}{\text{Tempo Programado}} \times 100 \quad (4)$$

Já a qualidade mede a taxa de produtos defeituosos pela produção total, ou seja, é a razão entre as peças boas produzidas e a produção total realizada (Björklöf; Castro, 2022).

$$\text{Taxa de Qualidade} = \frac{\text{Total de peças rejeitadas}}{\text{Total de peças produzidas}} \times 100 \quad (5)$$

Miragliotta *et al.* (2018) cita que o *OEE* é uma boa prática para a indústria, pois ele aponta o que precisa ser melhorado para aumentar a eficiência dos equipamentos de produção. Existem diversos meios de aumentar o *OEE*, seja por meio de abordagens da metodologia *TPM*, ou com auxílio da implementação do *kaizen* - que é uma outra técnica do sistema *Toyota* de produção. Adicionalmente, técnicas do *Lean Manufacturing* também buscam identificar perdas para eliminar ou diminuir atividades que não geram valor (Björklöf; Castro, 2022).

Hansen (2006) classifica os resultados do *OEE* a partir de seus estudos em quatro categorias, inaceitável, aceitável, muito bom e excelente. O Quadro 1 exibe a categorização do *OEE* segundo uma referência clássica da área.

Quadro 1 – Categorização do *OEE*.

Valor do <i>OEE</i>	Categoria
Menor que 65%	Inaceitável
Entre 65% e 75%	Aceitável
Entre 75% e 85%	Muito Bom
Acima de 85%	Excelente

Fonte: Hansen (2006).

Utilizar a tecnologia *IoT* para obter o *OEE* traz consigo uma série de benefícios, como análises instantâneas, relatórios e painéis de controle avançados, alertas inteligentes em tempo real, maior transparência na gestão, transferência segura de dados, melhoria na eficiência de produção e diminuição de perdas (Ammar *et al.*, 2021). Além disso ela cria a possibilidade de medir automaticamente as variáveis de disponibilidade, performance e a qualidade, dando assim o *OEE* em tempo real. Fazendo uso da *IoT* é possível também monitorar o estado real da máquina e, caso o equipamento esteja em bom estado, prolongar o tempo entre as manutenções. Além disso, o *OEE* medido por meio da *IoT* costuma trazer dados muito mais precisos do que dados apontados manualmente (Hwang *et al.*, 2017).

A plataforma *IoT* traz para a indústria acesso a dados precisos e ricos em informação, e isso ocasiona mais transparência nos processos de produção e uma tomada de decisão orientada por dados (Björklöf; Castro, 2022). Uma tecnologia muito utilizada para visualizar os dados coletados pelo *IoT* é o *Business Intelligence*, que será descrito na próxima seção.

O *OEE* em tempo real, traz a possibilidade também que os operadores monitorem sua performance individual, identificando áreas de melhoria e trabalhando para aproximar o tempo de ciclo do esperado (Novochadlo; Paladini, 2024). Em um estudo de caso em uma empresa do subsetor de termoplásticos, Oliveira Júnior *et al.* (2024) mostraram que a integração do *OEE* com tecnologias da Indústria 4.0, proporcionando o *OEE* em tempo real, teve um impacto significativo nas ocorrências relacionadas ao componente de Performance do *OEE*, que está relacionado à velocidade de produção e às micro paradas.

## 2.6 INDICADORES DE QUALIDADE E *BUSINESS INTELLIGENCE* (BI)

O setor tecnológico vem crescendo muito nas últimas décadas, especialmente em relação à tecnologia da informação. Dentro de suas muitas áreas de atuação, a

tecnologia da informação possui um campo voltado ao Sistema de Apoio à Decisão (SAD). A partir dessa área, foram criadas diversas novas tecnologias voltadas para a gestão, uma delas sendo o *BI*. O propósito do *BI* é poder integrar dados de diversas fontes, permitindo que seja possível a manipulação e interação entre esses elementos, de maneira que os gestores possam ter acesso a informações atualizadas em tempo real, tornando mais fácil e rápida a tomada de decisões (Reis *et al.*, 2010).

A Indústria 4.0 prevê o acréscimo de dispositivos inteligentes interconectados, trazendo um aumento da produtividade. A combinação de sistemas da tecnologia da informação com a internet tem resultado no crescente poder de aplicações. Ao conectar sistemas e dispositivos, aumenta-se o volume e a complexidade dos dados. Assim, de acordo com Lugoboni *et al.* (2018), é possível relacionar as tecnologias da Indústria 4.0 com o *BI*, que é uma plataforma com base em outras tecnologias de armazenamento.

Um método fácil de transformar uma grande quantidade de dados em informações é por meio de indicadores de desempenho. De acordo com Kaplan e Norton (1997, p. 21), “o que não é medido não é gerenciado”, ou seja, quando se mede a eficiência, é possível identificar falhas e oportunidades, podendo, assim, buscar a melhoria contínua de produtos, serviços e processos. Os indicadores costumam andar lado a lado com os objetivos estratégicos de uma empresa, por isso é necessário o uso de ferramentas que facilitem tanto a coleta de dados quanto a gestão visual, o monitoramento e a tomada de decisão.

Para expor a informação aos interessados, o *BI* utiliza um mecanismo de visualização chamado *dashboard*; nele, as informações são mostradas em diversos tipos de gráficos que facilitam a visualização de métricas (Few, 2006). Com o passar dos anos o *BI* vem se tornando um dos principais focos de investimentos em diversos tipos de organização (Ali *et al.*, 2017), sendo um instrumento estratégico para as empresas, causando um aumento considerável no desempenho por meio de análises e de relatórios gerenciais, fazendo os sistemas *ERP* cada vez mais essenciais.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Consolidando as principais perspectivas da revisão bibliográfica realizada, fica evidente que a gestão da qualidade desempenha um papel crucial na estratégia

organizacional, enfatizando a necessidade de um sistema de avaliação alinhado aos objetivos estratégicos da empresa.

Além disso, destaca-se a relevância da distribuição das responsabilidades na gestão de qualidade em três níveis distintos: estratégico, tático e operacional. Enquanto o nível estratégico traça diretrizes futuras e estabelece vínculos com o mercado, o nível tático está intrinsecamente relacionado aos métodos empregados, e o nível operacional trata dos procedimentos típicos da operação do processo produtivo. Essa abordagem se traduz em uma gestão mais eficaz e direcionada para o alcance dos objetivos da organização.

Uma visão contemporânea que emergiu é a qualidade 4.0, que enfatiza a valorização de dados. Esta perspectiva considera conceitos como conectividade, análise, desenvolvimento de aplicativos e o potencial da computação em nuvem.

A introdução às configurações tecnológicas da Indústria 4.0 trouxe à tona ferramentas como a *IoT* pela sua capacidade de coletar dados, o *Big Data* pelo tratamento ágil e eficaz desses dados para geração de indicadores em tempo real, a computação em nuvem por permitir o acesso remoto aos dados e o *BI* por analisar dados históricos e identificar oportunidades de aprimoramento contínuo. A inovação se consolida ainda mais com o conceito da cadeia de valor de dados, que ressalta a sinergia dessas ferramentas e sua contribuição conjunta para a melhoria contínua.

Dessa forma, a gestão da qualidade em conjunto com as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 apresentam uma visão promissora para a otimização dos processos e alcance da excelência organizacional.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o método da pesquisa, que traz informações relevantes sobre as características da pesquisa, além de descrever o contexto no qual ela foi aplicada e as ferramentas utilizadas.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA PESQUISA

Uma pesquisa pode ser classificada de maneiras diferentes quanto à sua abordagem, natureza, objetivos e procedimentos. Em relação à abordagem, esta pesquisa utiliza métodos mistos, pois faz uso das abordagens qualitativa e quantitativa para se ter uma compreensão mais aprofundada do fenômeno estudado (Astrogildo *et al.*, 2013). A natureza da pesquisa apresentada é aplicada, tendo em vista a busca por gerar conhecimento para a aplicação prática (Gerhardt; Silveira, 2009).

Quanto ao objetivo, a pesquisa pode ser classificada como explicativa, pois procura esclarecer o acontecimento dos fenômenos estudados com o auxílio de fatores identificados, trazendo assim uma explicação sobre o motivo do acontecimento (Gil, 2007). Quanto ao procedimento, este se apresenta como uma pesquisa-ação, pois o autor se concentra em resolver um problema oferecendo soluções e sugestões de ações para ajudar na transformação da situação, além de buscar obter informações que seriam difíceis de serem obtidas por meio de outros métodos, contribuindo para expandir o conhecimento em situações específicas (Thiollent, 2011).

A abordagem da pesquisa-ação revela-se pertinente quando a questão da pesquisa vinculada à descrição da evolução de uma sucessão de ações ao longo do tempo em uma determinada organização, buscando explicar como e porque a ação de um membro de um grupo pode influenciar ou aprimorar determinados aspectos do sistema. Esse procedimento visa compreender o processo de mudança ou aperfeiçoamento, proporcionando uma oportunidade para expandir o conhecimento estudando essas situações (Mello, 2012).

Portanto, é possível determinar que essa pesquisa é uma pesquisa-ação que tem uma abordagem qualitativa e quantitativa. Além disso, possui uma de natureza aplicada, pois procura gerar conhecimento fazendo uso de uma aplicação prática e é caracterizada com uma pesquisa explicativa que busca elucidar os acontecimentos analisados com a ajuda de fatores identificados.

## 3.2 O CONTEXTO DA PESQUISA E AS FERRAMENTAS UTILIZADAS

No presente tópico, será exposto o contexto no qual a pesquisa se insere, correlacionando informações referentes à empresa e à maneira como os dados foram capturados das máquinas.

### 3.2.1 A Empresa

A pesquisa foi realizada em uma fábrica de óculos de médio porte no Brasil. Com cerca de 130 colaboradores, a fábrica conta com 5 setores: injeção, acetato, pintura, montagem de acessórios e cortes de lentes. Para a execução deste projeto, realizou-se uma extensa pesquisa com o intuito de buscar conhecimento sobre as ferramentas aplicadas na empresa.

O setor escolhido neste estudo foi o de injeção, que contempla 8 injetoras e funciona em 2 turnos, sendo que de segunda à quinta-feira, o primeiro turno começa às 06:00 e termina às 16:00 e o segundo começa às 15:30 e termina 01:30 da manhã do dia seguinte, ambos com intervalo de 1 hora para almoço/janta. Nas sextas-feiras o primeiro turno começa às 06:00 e termina às 15:00 e o segundo começa às 15:00 e termina à meia-noite.

### 3.2.2 O Setor de Injeção

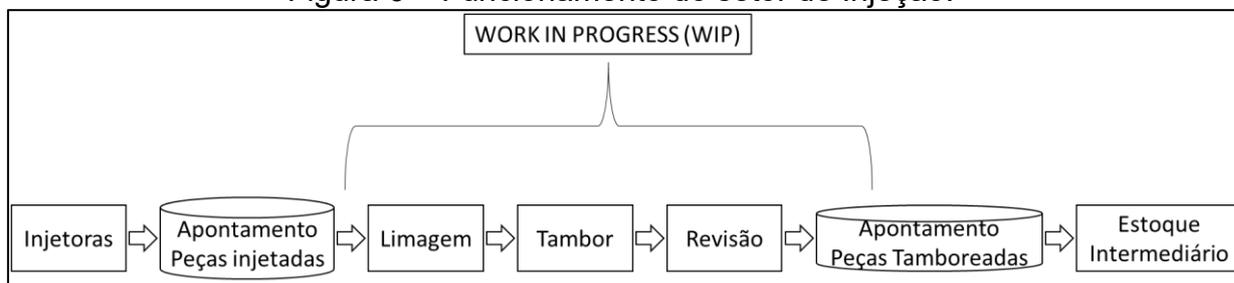
O setor de injeção compreende cinco atividades, sendo a primeira o processo de injeção, no qual um polímero específico é injetado no molde, dando forma a frentes, hastes e adornos dos óculos. Cada injetora possui um operador encarregado de cortar o canal de injeção, lixar marcas na peça e inspecioná-la para determinar se é considerada refugo. Inicialmente, esse processo contava com um apontamento de produção realizado manualmente todos os dias no período da manhã a partir da coleta de dados feito pelos operadores em papéis. Esse apontamento tem duas funções, indicar para o *ERP* as quantidades produzidas de cada produto no dia anterior e movimentar os materiais dentro do *ERP*, transformando quilogramas de polímero em frentes, hastes ou clip-ons injetados.

A segunda atividade é o processo de limagem, no qual as frentes injetadas passam por uma etapa para eliminar rebarbas provenientes do canal de injeção ou da linha de fechamento do molde. O terceiro processo é o de tambor, no qual as peças são lixadas por meio de um equipamento denominado tambor giratório, preenchido com material abrasivo. O equipamento é ligado, e as peças entram em contato com o meio abrasivo, removendo rebarbas, sujeiras e irregularidades.

O quarto e último processo é a revisão, no qual as peças são inspecionadas e organizadas em caixas contendo 63 peças cada e depois destinadas ao estoque intermediário que abastece o setor de pintura. Após a revisão, ocorre um novo apontamento de produção, transformando as frentes, hastes e clip-ons injetados em frentes tamboreadas, hastes tamboreadas e clip-ons tamboreados, os quais são encaminhados para um estoque intermediário em produção.

Dessa forma, todas as peças identificadas como frentes injetadas, hastes injetadas e clip-ons injetados integram o estoque *WIP (Work in Progress)* do setor de injeção. A Figura 6 mostra um esboço do funcionamento do setor de Injeção.

Figura 6 – Funcionamento do setor de Injeção.



Fonte: O autor, 2024.

É importante destacar que o estoque intermediário existe devido à diferença de ritmo entre a produção dos setores de pintura e de injeção. Embora ambos os setores sejam dimensionados para produzir a mesma quantidade de peças por dia, a pintura opera com lotes muito pequenos, fabricando cerca de 40 produtos diferentes diariamente, enquanto o setor de injeção trabalha com lotes maiores e uma menor variedade de produtos. Essa disparidade resulta na necessidade de um estoque intermediário. No entanto, o aumento da eficiência no setor de injeção pode levar à redução desse estoque e a uma menor incidência de falta de peças.

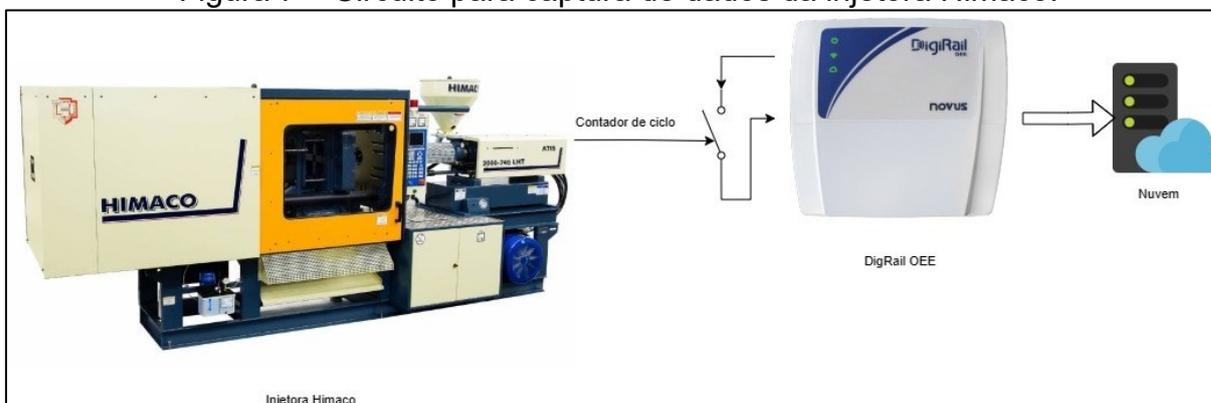
### 3.2.3 A captura de dados

Para a captura dos dados, um *IoT* é acoplado às máquinas com o propósito de adquirir dados provenientes das injetoras e gerar notificações sempre que uma peça é fabricada. O processo da captura de dados, foi iniciada pela escolha do equipamento *IoT*. O dispositivo *DigiRail OEE* foi escolhido por possuir seis entradas digitais destinadas à coleta de dados (cada entrada comunicando-se com uma máquina no contexto da presente operação) e por sua memória interna com capacidade para armazenar até 2060 registros. Tal capacidade de armazenamento mostra-se essencial, especialmente em situações de interrupção na conectividade com a internet.

A segunda parte da captura dos dados é sobre como buscar o sinal de que uma peça foi fabricada para envia-lo ao *IoT*. Uma dificuldade que Oliveira (2020) cita para a transformação digital é a necessidade de encontrar diferentes métodos de coleta de dados pelo fato de existir uma variedade de máquinas que podem não possuir um protocolo de comunicação com a *IoT*. No setor de injeção desse presente estudo, existem oito injetoras de 3 marcas diferentes, sendo elas: 05 injetoras da marca Himaco; 01 da marca Arburg; 02 injetoras da marca Haitian.

O processo de captura de dados diverge entre as máquinas, no caso da Himaco, optou-se pela instalação de um relé de contato seco conectado ao contador de ciclo da máquina. Dessa forma, a conclusão de cada ciclo aciona o contador, que, por sua vez, desencadeia o relé, possibilitando a emissão do sinal ao *IoT*. Na figura 7 pode-se observar o circuito adaptado para captura de dados dessa injetora.

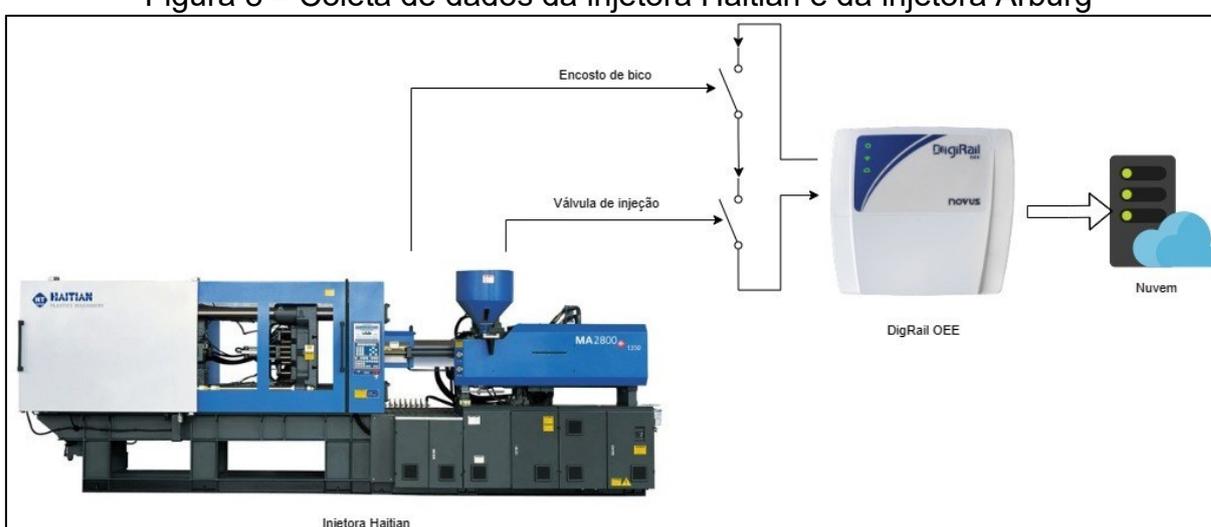
Figura 7 – Circuito para captura de dados da injetora Himaco.



Fonte: O autor, 2024.

No que tange à injetora Arburg e Haitian, a estratégia adotada foi diferente. Para transmitir o sinal ao *IoT*, primeiramente, era necessário capturar o sinal do movimento do encosto do bico da injetora. Para esse propósito, utilizou-se um sensor indutivo M8 faceado, acionado por proximidade. Na injetora, sempre que o avanço do bico era acionado, o sensor emitia um sinal. O segundo sinal coletado era proveniente da válvula de injeção, sendo possível capturá-lo diretamente da máquina. Como é possível ver no esquema da Figura 8, quando ambos os sinais eram adquiridos, o relé de contato seco fechava e um sinal era transmitido ao *IoT*, indicando a produção de uma peça.

Figura 8 – Coleta de dados da injetora Haitian e da injetora Arburg



Fonte: O autor, 2024.

### 3.2.4 O Software

O *software* utilizado para captura e análise de dados é chamado *LiveMes* e pertence à empresa *Harbor*, que tem suas atividades voltadas ao desenvolvimento de sistemas industriais e está situada no estado de Santa Catarina. O *LiveMes* foi contratado a partir do modelo de *Software as a Service (SaaS)*, que vem crescendo muito nos últimos anos. Esse modelo de negócio oferece um *software* como serviço, onde o cliente paga pela utilização do *software* e não por sua propriedade, e a empresa que oferece o serviço é que fica responsável pela manutenção e pelo suporte (Melo *et al.*, 2007). A empresa *Harbor* forneceu o programa, deu treinamentos e também ficou encarregada de armazenar e tratar os dados coletados da produção.

Um grande diferencial do *LiveMes* em relação a outros produtos encontrados no mercado é o suporte técnico, as atualizações frequentes do sistema – buscando atender as necessidades do cliente – e os relatórios recorrentes que avaliam os resultados da produção de um determinado período preestabelecido. Estes foram os principais aspectos que justificaram a escolha deste *software* para integrar o presente estudo.

O *LiveMes* tem como sua principal função calcular *OEE* por meio de três indicadores: a disponibilidade, a desempenho e a qualidade. Para Björklöf e Castro (2022) a disponibilidade mede as perdas de tempo por inatividade devido a uma série de fatores, como quebra de máquina ou ajustes de ferramentas. Assim, para que o *software* identifique que houve uma parada, é necessário cadastrar alguns itens:

- a) Cadastrar o tempo mínimo parado (sem produzir) em que o *Software* deverá considerar uma parada (o tempo escolhido foi de 4 minutos sem produzir);
- b) Cadastrar os possíveis motivos de paradas;
- c) Cadastrar quais paradas são planejadas e quais devem descontar no indicador de disponibilidade.

O segundo índice utilizado para calcular o *OEE* é o de desempenho, que é afetado quando existem reduções na velocidade de operação, ou por pequenas paradas (micro paradas) (Somensi, 2022). Para medi-lo, foi necessário realizar os seguintes cadastros:

- a) Cadastrar a taxa de produção por hora de cada molde;
- b) Cadastrar quantas peças cada molde produz por ciclo;
- c) Cadastrar o tempo mínimo sem produzir que iniciará uma micro parada (nesse caso, o tempo escolhido foi de 2 minutos).

O último índice do *OEE* é a qualidade que expressa a quantidade de peças sem defeitos que foram produzidas em relação à quantidade de peças totais (Somensi, 2022). Para esse índice, foram cadastrados os maiores motivos de refugo, além de um motivo genérico chamado “outros”.

Além desses cadastros, o *software* também necessitou de informações como: nomes dos centros de trabalho; nomes dos operadores; nomes e horários para cada turno. Também foi implementado um *tablet* (*Galaxy Tab A7 Lite 4G 32GB*) para cada injetora. Esse dispositivo tem quatro funções importantes para a operação:

- a) Apontamento de refugo;
- b) Apontamento de motivo de parada;
- c) Troca de ordem de produção;
- d) Fazer anotações com mais detalhe de eventos que possam ocorrer durante a produção.

Assim, com essa estrutura de *hardware* e os cadastros realizados no *software*, o operador de cada injetora consegue acompanhar seu *OEE* em tempo real, além dos índices de desempenho, disponibilidade e qualidade. Além disso, ele também consegue comparar em tempo real qual seria a produção esperada por hora com a produção real e tempo médio de ciclo nominal por hora com o tempo médio de ciclo.

O *Livemes* também fornece informações de histórico do setor, podendo ver a eficiência, a desempenho, a disponibilidade e a qualidade que foram atingidos no passado, além de identificar o que causou todas as perdas de eficiência, seja por paradas, por refugo ou por um ciclo mais lento do que deveria. Todas essas informações que o sistema fornece podem ser ainda estratificadas por centro de trabalho, por ordem de produção e até por produto.

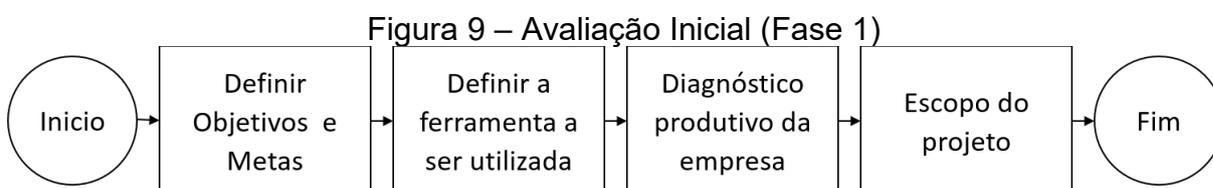
## 4 A IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA

A implantação da tecnologia foi organizada em quatro fases principais. Esse diagnóstico visou compreender os objetivos, metas e as mudanças necessárias para a implementação. A primeira fase consistiu em diagnosticar a situação atual da empresa. A segunda fase abrange desde o início do processo de implantação da ferramenta até a operação do chão de fábrica. Na terceira fase, o foco foi a integração do sistema *ERP* da empresa com o *software Livemes*. Nesta etapa, o *ERP* foi ajustado para enviar automaticamente todas as Ordens de Produção (OP) para o *Livemes*, eliminando a necessidade de abri-las manualmente em *softwares* distintos. A quarta e última fase tratou do envio automático das informações coletadas pelo *Livemes* para o *ERP*, o que possibilitou que todos os registros de produção, que anteriormente eram feitos manualmente, passassem a ser automatizados pelas máquinas injetoras.

Se considerarmos o modelo apresentado por Govindaraju e Putra (2016), a primeira etapa do processo pode ser alinhada ao que os autores denominam “Avaliação Inicial”. A segunda etapa estaria alinhada com 3 tópicos, “Configuração e testes”, “Implantação” e “Operação”. A terceira e a quarta etapas estariam alinhadas ao tópico “*Desing*”, que busca definir as funcionalidades do sistema *MES* e estabelecer como ele se comunicará com o restante da empresa por meio do *ERP*.

### 4.1 AVALIAÇÃO INICIAL (FASE 1)

Nesta fase inicial, o primeiro passo foi identificar os objetivos da empresa para compreender os desafios enfrentados e as melhorias desejadas. Com essa informação, foi possível selecionar a ferramenta mais adequada para alcançar as metas e objetivos estabelecidos. Após esses dois primeiros passos, realizou-se um diagnóstico detalhado dos processos existentes, identificando oportunidades de aprimoramento e possíveis melhorias. Por fim, definiu-se o escopo do projeto. A Figura 9 ilustra o fluxograma da Fase 1 da implementação.



Fonte: O autor, 2024.

Na primeira etapa da Avaliação Inicial, a empresa estabeleceu como objetivos e metas principais aumentar a transparência em seus setores, buscando confiar mais nos dados coletados e obter informações em tempo real sobre o que estava sendo produzido, além de monitorar a eficiência de cada centro de trabalho.

Com esses objetivos em mente, foi selecionada a ferramenta *Livemes*, um *software* que implementa um sistema *MES (Manufacturing Execution System)* e utiliza tecnologias como *IoT* para coleta de dados, *Big Data* para análise e processamento desses dados, armazenamento em nuvem, além de possibilitar a integração com o *ERP* existente para os apontamentos. Ele também inclui diversas interfaces para monitoramento e controle da produção.

Durante o diagnóstico dos processos produtivos da empresa, o setor de injeção foi identificado como o local ideal para a realização de um teste piloto. Este setor foi escolhido por ser o início da operação produtiva, além de ter uma alta incidência de erros nos apontamentos de produção e dificuldades no acesso às informações sobre a produção do dia.

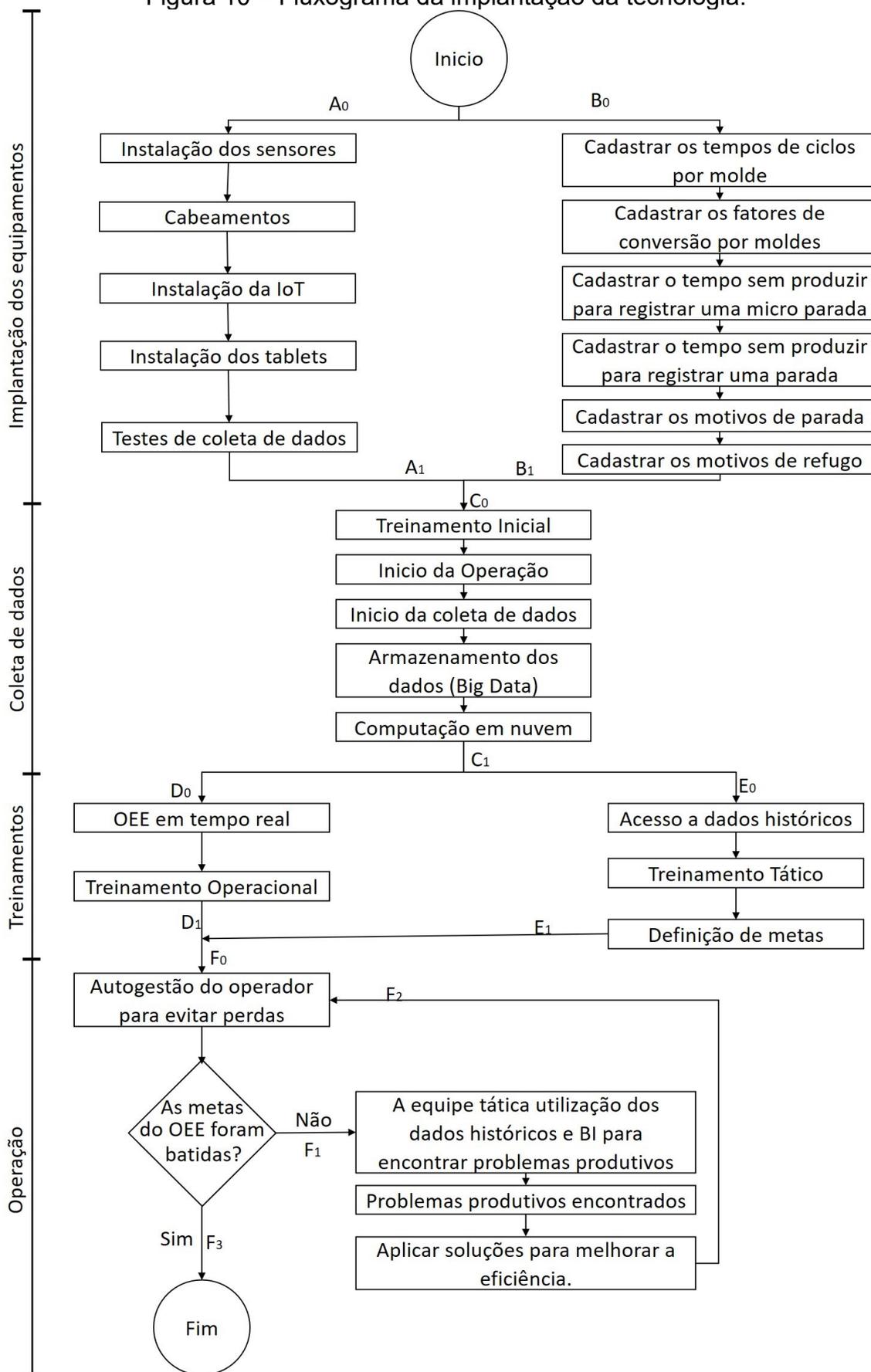
A partir dessas três etapas iniciais, foi possível definir claramente o escopo do projeto. Este escopo é então detalhadamente complementado pelas fases 2, 3 e 4 da implementação, as quais são explicadas neste capítulo.

## 4.2 IMPLANTAÇÃO ATÉ O INÍCIO DA OPERAÇÃO (FASE 2)

A segunda fase desdobrou-se em quatro etapas distintas. Começando pela implantação dos equipamentos, seguido pela implementação do processo de coleta de dados. Posteriormente, realizou-se os treinamentos, tanto para a equipe tática quanto para a equipe operacional e, por fim, a última fase marcou o início da operação.

A Figura 10 mostra o fluxograma que detalha o desdobramento de todas essas atividades, delimitando o início e o término de cada uma dessas fases.

Figura 10 – Fluxograma da implantação da tecnologia.



### 4.2.1 Implantação dos equipamentos

Essa etapa da fase 2 foi desmembrada em dois processos distintos: o de instalação do hardware, executado pela equipe de manutenção, e dos cadastros e configurações necessários no *software*, efetuado pelo time de Planejamento e Controle da Produção (PCP) da fábrica. A Figura 10 ilustra a execução simultânea desses procedimentos, o que contribuiu para a agilização do processo de implantação dos equipamentos.

Conforme o fluxograma, no início foram adotadas duas trajetórias. A primeira, denominada caminho A0 foi coordenada pela equipe de manutenção, onde priorizou-se a instalação dos sensores e contatos secos nas máquinas, um processo descrito na seção 3.

A instalação do *IoT* envolveu a utilização de um dispositivo com seis portas, cada uma conectada a uma máquina injetora diferente. A montagem dos tablets foi a fixação de suportes adequados e à disponibilização de tomadas para recarregar os equipamentos. Os testes de coleta de dados verificaram se a contagem das injetoras no ambiente físico coincidia com aquela registrada no *software*.

O segundo processo da implantação é o caminho B0, onde o time de PCP foi responsável por coletar e registrar os dados dos itens indicados no fluxograma. Com todos os cadastros completos e a aprovação dos testes de coleta de dados pela equipe de manutenção, essa primeira etapa foi considerada concluída, permitindo o avanço para a próxima fase do projeto.

### 4.2.2 Coleta de dados

Nesta etapa, a prioridade inicial foi capacitar os operadores das injetoras. Eles receberam treinamento específico para aprender a utilizar funções essenciais do novo software, tais como selecionar a OP antes de iniciar a fabricação de um produto e registrar refugos e paradas de máquina. Simultaneamente, o setor do PCP também foi treinado para abrir as ordens de produção no novo *software*.

Após a conclusão dos treinamentos, foi possível dar início à operação do *software*. Neste momento, as ferramentas associadas à indústria 4.0 foram ativadas: o *IoT* passou a coletar dados e o *Big Data* a processá-los de forma ágil e eficaz, o que

possibilitou a geração de indicadores de desempenho em tempo real. Além disso, a computação em nuvem permitiu o acesso remoto a esses dados.

### 4.2.3 Treinamentos

Com um breve período de coleta de dados já realizado, os treinamentos foram iniciados. Inicialmente pelo caminho Do, onde já se obtinha o cálculo do *OEE* e suas variáveis em tempo real, foi possível realizar o treinamento operacional. Este treinamento focou em como interpretar e responder aos indicadores fornecidos, capacitando os funcionários a ajustar e otimizar continuamente os processos de produção.

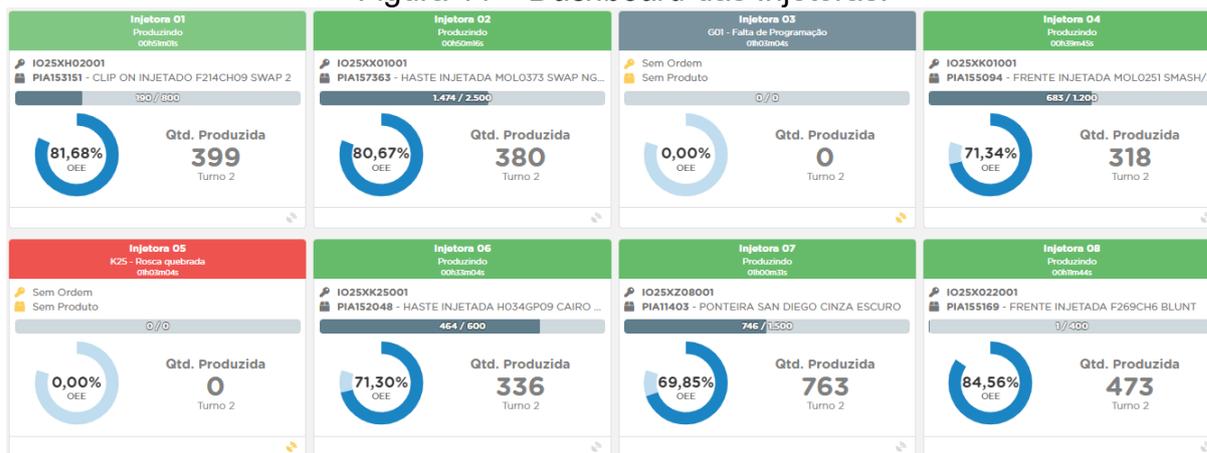
#### 4.2.3.1 *Treinamento Operacional*

O treinamento operacional foi direcionado aos operadores de injetoras, líder do setor e programador de máquina. Corroborando com as três etapas do treinamento do estudo de Büth *et al.* (2018), o objetivo deste treinamento é compartilhar os conceitos do *OEE* e suas variáveis de modo que os operadores possam conhecer a teoria por trás do *software*, explicando também como funciona a coleta de dados e como os gráficos podem auxiliar no controle da eficiência. Os tópicos abordados durante o treinamento podem ser vistos a seguir:

- a) Como funciona o indicador *OEE*;
- b) Como funciona o índice de disponibilidade, qualidade e performance do *OEE*;
- c) Como funciona a coleta de dados;
- d) Como fazer a troca de OP;
- e) Como apontar refugos;
- f) Como o sistema indica que existe uma parada pendente de apontamento e como aponta-la;
- g) Como interpretar as telas e gráficos de operação;
- h) Como descobrir o motivo do *OEE* estar baixo e tentar melhorá-lo;
- i) Como acompanhar a produção e o *OEE* de diversas máquinas ao mesmo tempo.

Outro ponto dos treinamentos foi o *dashboard* das injetoras, ilustrado na Figura 11. Este painel de controle permite que o líder de produção ou o programador de máquinas monitore em tempo real o *OEE* de várias injetoras simultaneamente. Além disso, o *dashboard* oferece uma visão detalhada da produção de cada máquina, indicando se alguma está parada, e o progresso de cada uma em relação a OP em andamento.

Figura 11 – *Dashboard* das Injetoras.



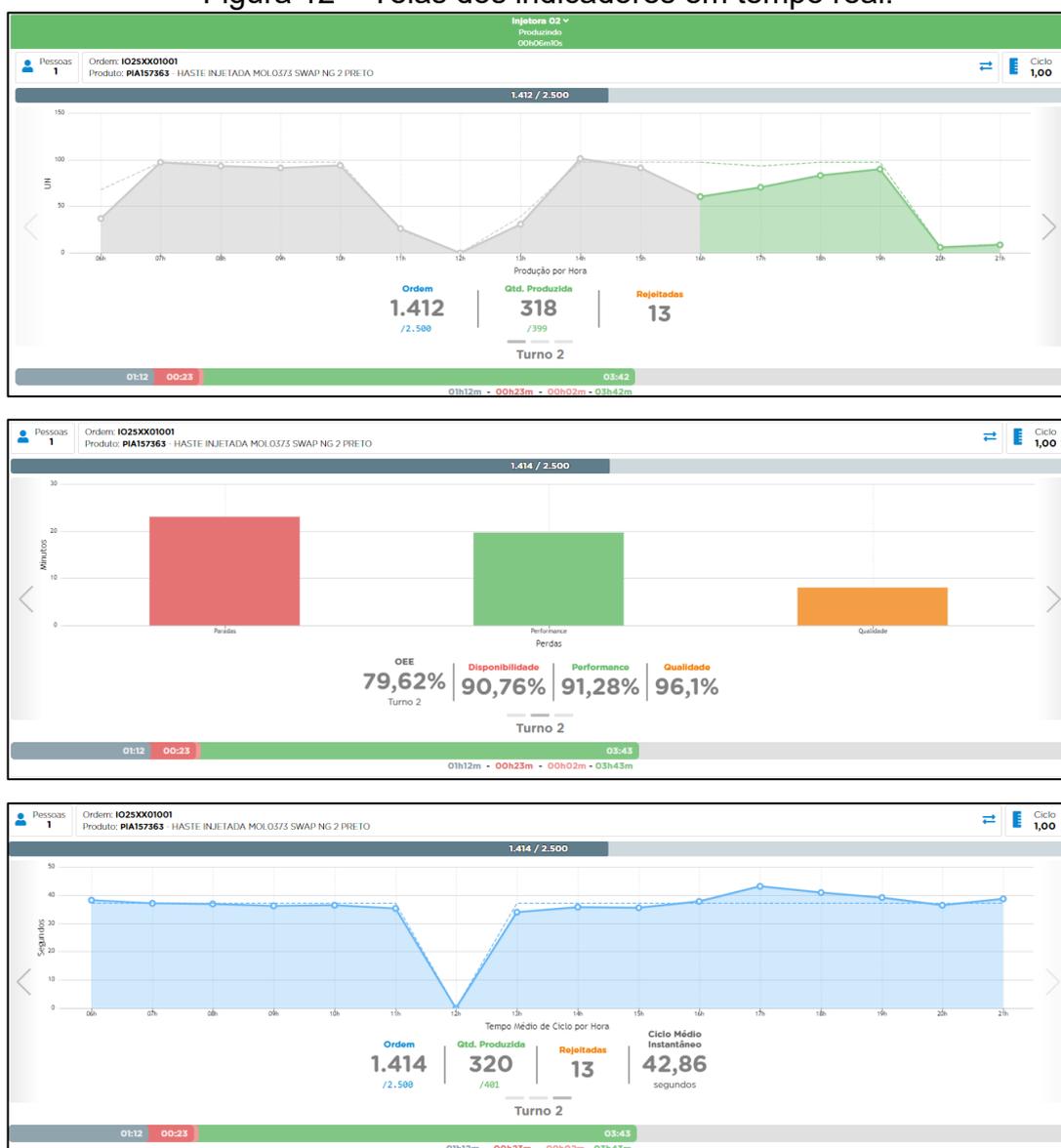
Fonte: O autor, 2024.

Além desses tópicos, o treinamento buscou também familiarizar os operadores das injetoras com mais três telas que cada máquina possui, conforme ilustrado na Figura 12:

- Primeira Tela: Mostra a quantidade produzida e a capacidade produtiva por hora, fornecendo uma visão geral da produção;
- Segunda Tela: Apresenta o *OEE* atual e suas variáveis. Esta tela permite uma rápida identificação dos fatores que estão impactando negativamente a eficiência da máquina, seja em termos de disponibilidade, performance ou qualidade;
- Terceira Tela: Compara o tempo de ciclo nominal com o tempo de ciclo real por hora. Ela é essencial para casos em que o índice de performance está reduzindo o *OEE*, possibilitando identificar se a produção está lenta ou se estão ocorrendo muitas micro paradas.

Este treinamento visa equipar os colaboradores com as competências necessárias para maximizar a eficiência operacional e responder de forma proativa aos desafios do ambiente de produção.

Figura 12 – Telas dos indicadores em tempo real.



Fonte: O autor, 2024.

#### 4.2.3.2 Treinamento Tático

O treinamento tático começa quando o sistema já acumulou dados históricos suficientes para análise e otimização. Este nível de treinamento expande os conhecimentos adquiridos no treinamento operacional, incorporando o uso avançado de ferramentas de *BI* e outras funcionalidades do sistema. Os principais componentes do treinamento tático incluem:

- Treinamento em *Business Intelligence* no Modo Histórico;
- Treinamento em *Business Intelligence* no Modo Analítico;
- Treinamento sobre o Relatório Consolidado;

- d) Criação e alteração de cadastros no sistema;
- e) Treinamento de auditoria do sistema;
- f) Revisão do treinamento operacional.

Ao final do treinamento tático, ocorreu a definição de metas específicas para o *OEE*, alinhando os objetivos operacionais com as análises realizadas durante o treinamento.

Quanto ao treinamento estratégico, vale ressaltar que, embora não tenha sido realizado, as decisões tomadas pela equipe tática, baseadas no treinamento tático, devem criar métodos alinhados com a visão estratégica da empresa. Além disso, é fundamental acompanhar os resultados (em termos de atuação no mercado, por exemplo) para garantir que a empresa esteja progredindo na direção correta.

#### **4.2.4 Operação**

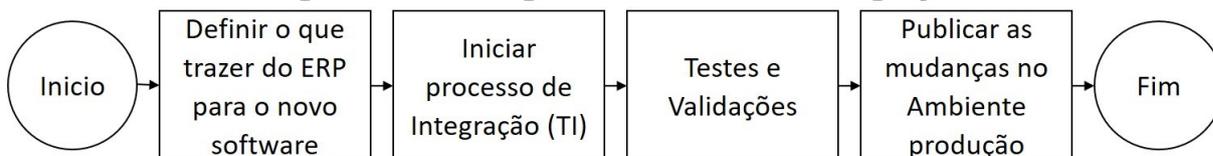
Com os treinamentos concluídos e as metas estabelecidas, a operação do sistema pode ser iniciada conforme planejado. Nesta fase, os operadores empregam suas habilidades desenvolvidas durante o treinamento operacional para monitorar o *OEE* em tempo real, com o objetivo de minimizar perdas produtivas. Eles aplicam as técnicas aprendidas para identificar e resolver problemas imediatos que possam impactar a eficiência da produção.

Paralelamente, a equipe tática utiliza as competências adquiridas no treinamento tático para detectar perdas que não foram evitadas pela operação. Esta equipe é responsável por analisar os dados de forma mais aprofundada para identificar perdas. A partir dessas análises, eles desenvolvem e implementam melhorias contínuas nos processos, visando a otimização e aperfeiçoamento da operação.

### **4.3 INTEGRAÇÃO *ERP* – *SOFTWARE* (FASE 3)**

A fase 3 da integração é um processo que auxilia na organização do sistema pois começa a integração entre as informações *ERP* do *Livemes*. Essa primeira integração busca enviar informações do *ERP* para o novo sistema, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma da Fase 3 da integração.



Fonte: O autor, 2024.

Para o *Livemes*, é possível trazer informações do *ERP* como:

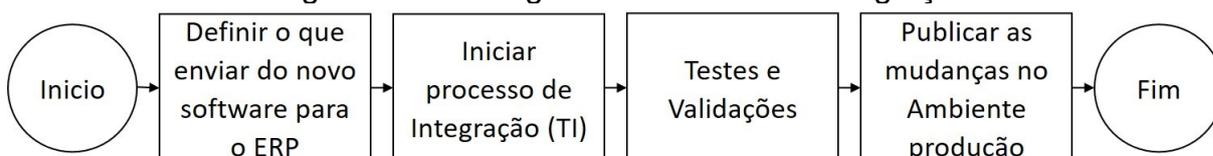
- a) Previsão de início;
- b) Qual máquina irá produzir que peça;
- c) Status das ordens de produção,
- d) Previsão de termino da OP;
- e) Cadastro de produtos.

No caso da empresa estudada, as informações escolhidas do *ERP* para alimentar o *Livemes* foram o status da OP, ou seja, quando uma OP for aberta ou fechada no *ERP*, o *Livemes* irá copiar a informação e o cadastro de produtos (código, descrição, taxa de produção, etc.). Apenas esses itens foram escolhidos, considerando o fato de que a empresa não utilizar o *ERP* nas tarefas de sequenciamento da produção.

#### 4.4 INTEGRAÇÃO SOFTWARE - ERP (FASE 4)

A última fase da integração é sobre o envio das informações coletadas na produção para o *ERP*. Nessa fase, são escolhidos quais as informações coletadas na produção, como *OEE*, Performance, Qualidade, Disponibilidade, paradas apontadas, quantidade produzida, quantidade de refugo, retrabalho, entre outros. A fase 4 é descrita na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma da Fase 4 da integração



Fonte: O autor, 2024.

Essa última fase da integração é feita com muita cautela, pois essa integração mexe diretamente com o inventário da empresa, seja pelo consumo de matéria prima ou pelo inventário de produtos processados. Nessa etapa a empresa escolheu buscar apenas dados que já eram apontados manualmente, sendo estes o refugio e o apontamento de produção. Para Govindaraju e Putra (2016), é importante considerar a troca de informações entre o *MES* e o *ERP* somente quando as informações forem relevantes e importantes para cada sistema envolvido.

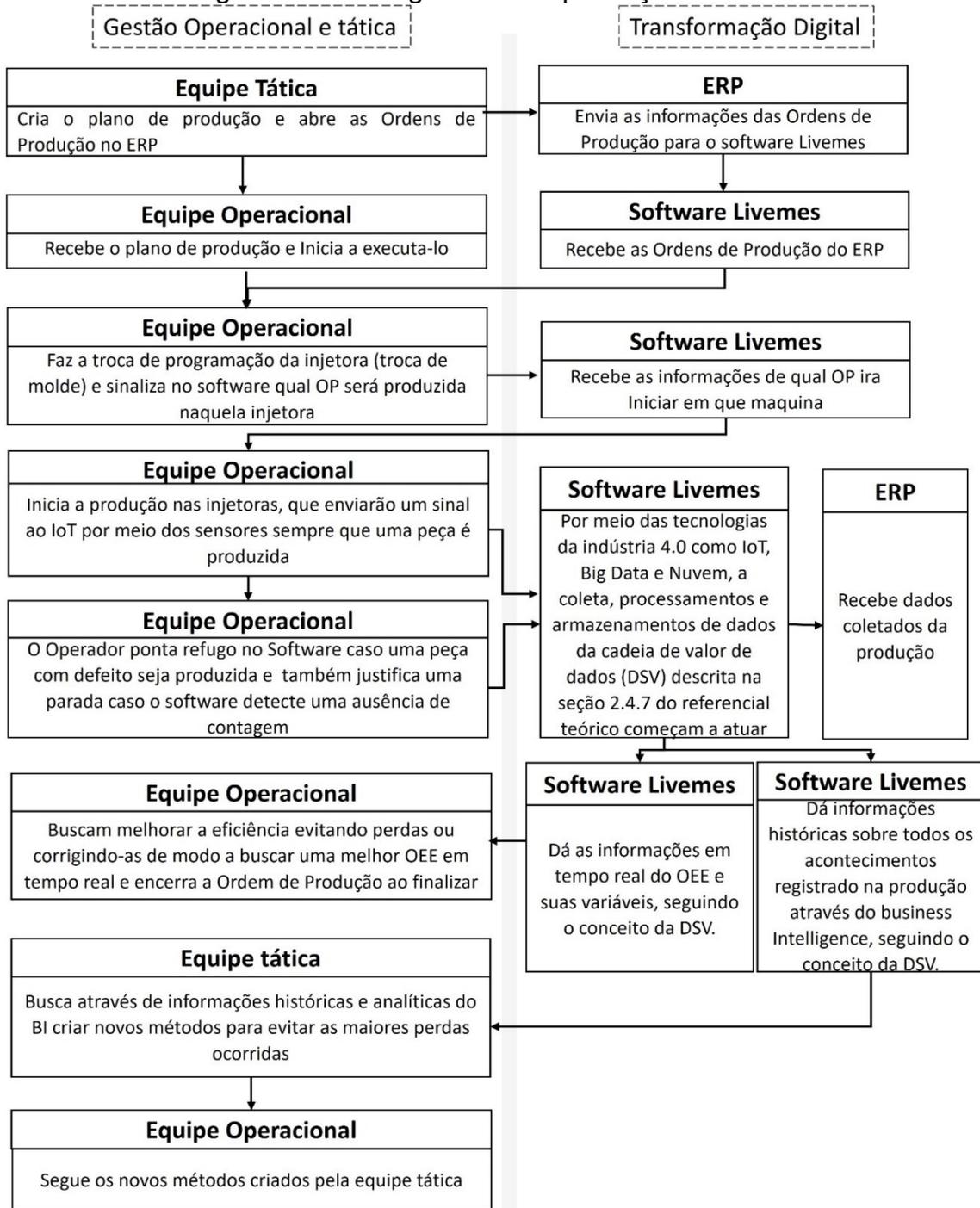
#### 4.5 IMPLANTAÇÃO CONCLUÍDA

Após a conclusão da implantação, foi possível observar o fluxo dos dados juntamente com as atividades realizadas tanto pelas equipes táticas quanto pelas equipes operacionais da empresa, conforme ilustrado na Figura 15.

Por meio desse fluxograma, é possível perceber que os conceitos da cadeia de valor de dados, conforme citados por Björklöf e Castro (2022), se encaixam perfeitamente nos resultados obtidos com a implantação. O processo inclui a coleta de dados por meio da sensorização das máquinas e o envio de apontamentos de refugos e paradas por meio do operador e do *IoT*. O pré-processamento, transmissão, armazenamento e processamento dos dados são realizados utilizando técnicas de *Big Data* e computação em nuvem. Para a visualização dos dados, o software *Livemes* é utilizado, seja por meio das telas das Figuras 11 e 12 ou pelo *Business Intelligence* utilizado pela equipe tática. Por fim, os dados são utilizados como base para a criação de novos métodos pela equipe tática ou para correções de percurso feitas pela equipe operacional, com o objetivo de evitar perdas de eficiência.

Vale ressaltar também a comunicação automática do *ERP* para o software, trazendo no modelo desse trabalho o cadastro dos produtos atualizados, o status das ordens de produção e a comunicação do software para o *ERP*, onde são feitos os registros de produção de maneira automática, atualizando com mais frequência os estoques (por meio de apontamentos e consumos de matéria prima), mantendo a equipe tática com dados mais atualizados para tomar decisões.

Figura 15 – Fluxograma da implantação concluída.



Fonte: O autor, 2024.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

O objetivo geral deste estudo foi implantar conceitos, métodos e tecnologias da indústria 4.0 em uma empresa de médio porte, visando avaliar o impacto deste processo na Gestão e Avaliação da Qualidade em níveis operacional, tático e estratégico.

### 5.1 IMPACTO NA GESTÃO DA QUALIDADE

Como é possível observar na seção 4, a implantação de conceitos, métodos e tecnologias da indústria 4.0 foi executada na empresa. Para Paladini (2019a), o conceito em qualidade tem a conotação da representação física e concreta de uma ideia. Portanto, para solucionar o objetivo geral, o conceito da indústria 4.0 que buscou-se atingir foi a Transformação Digital da Produção. O método usado para isso foi a coleta e a disposição dos dados, tanto em tempo real, como também a disposição de dados históricos.

As tecnologias da indústria 4.0 utilizadas foram o *Big Data*, *IoT*, Nuvem e *BI*, e o *software* obtido por meio de *SaaS*. Já as ferramentas utilizadas são os indicadores em tempo real disponíveis, como o *OEE* e seus índices, e os dados obtidos por meio dos modos históricos e analíticos do *BI* do software.

Um ponto crucial na implementação foi o envolvimento dos colaboradores, que demonstraram grande entusiasmo com a nova ferramenta ao verem os resultados de sua produção em tempo real. No entanto, surgiram preocupações sobre a possibilidade de avaliações individuais, já que o aplicativo monitorava as paradas, gerando receio de que esses dados fossem usados para avaliá-los negativamente.

Para esclarecer essa questão, a gestão reuniu os colaboradores e explicou que o objetivo do monitoramento era avaliar a eficiência geral e a função desempenhada, e não julgar o desempenho individual de cada um. Enfatizou-se que a análise estava focada no desempenho do processo, e não em avaliações individuais. Essa abordagem ajudou a tranquilizar os colaboradores, deixando claro que o propósito do monitoramento não era identificar falhas pessoais, mas, sim, melhorar o processo como um todo.

Para seguir com os objetivos deste estudo e avaliar o impacto da Indústria 4.0 no processo produtivo, é essencial primeiro compreender o estado anterior do setor

antes da implementação das novas tecnologias e, posteriormente, investigar as mudanças ocorridas após a sua adoção. A análise seguirá um formato que detalha o tópico em foco, descreve como o setor operava em relação a esse tópico no ano de 2022, como passou a operar após a aplicação das ferramentas, e os resultados decorrentes dessa transformação.

### 5.1.1 Gestão Operacional da Qualidade

Conforme descrito no referencial teórico, a gestão da qualidade no nível operacional, se refere aos procedimentos necessários para a aplicação da metodologia definida pela gestão tática. Assim, em relação ao nível operacional, pode-se destacar as seguintes mudanças:

#### 5.1.1.1 *Apontamentos de Produção*

**Situação Antes da Implantação:** Os apontamentos de produção eram realizados manualmente no *ERP*, por meio do líder de produção. Uma vez ao dia o líder de produção coletava as informações deixadas por cada operador do dia anterior (nos dois turnos) e passava a informação para o sistema.

**Situação Após da Implantação:** Após a implantação ser finalizada (Fase 4) as Injetoras passaram a fazer o apontamento diretamente no *ERP* a cada 3 horas.

**Resultados Alcançados:** Oliveira (2022) cita que uma das características de um *MES* é realizar o apontamento dos dados de produção. Com a automatização, o *ERP* passou a coletar as informações de forma automática, eliminando a necessidade de o líder fazer os registros manualmente, ou seja, o líder deixou de fazer cerca de 15 apontamentos por dia, 3600 apontamentos em um ano se utilizamos os dados históricos de 2022.

#### 5.1.1.2 *Apontamentos de Perda*

**Situação Antes da Implantação:** Durante a produção o operador da injetora faz a inspeção visual em cada item. Os produtos rejeitados eram separados do processo produtivo e coletados pelo setor encarregado de fazer o apontamento dos

refugos. As peças recolhidas eram novamente revisadas e registradas manualmente no sistema, indicando o produto, a máquina injetora, o defeito e a quantidade.

**Situação Após da Implantação:** Com o novo sistema, o operador já registra o refugo direto em seu tablet em tempo real, indicando o motivo de refugo.

**Resultados Alcançados:** Com esse registro sendo feito por meio do tablet dos operadores, torna possível saber o valor da variável “Qualidade” do *OEE*, que como mostra Björklöf e Castro (2022), é a razão entre o número de produtos rejeitados pela produção total.

Outro ponto de melhoria se refere à integração com o *software*, que passou a comunicar ao *ERP* a quantidade de refugo produzido a cada três horas, mantendo assim as informações de estoque e materiais em processo mais atualizadas.

Uma última melhoria alcançada foi a eliminação da inspeção realizada pelo setor de apontamento de refugo, pois com esse novo sistema os próprios operadores já utilizam sua inspeção para fazer o registro do motivo de refugo. Apesar de não serem quantificadas as reduções de custos por determinação da empresa estudada, é visível que existe esta diminuição por meio da eliminação dessa tarefa que não agrega valor ao produto.

#### 5.1.1.3 Apontamentos de Parada

**Situação Antes da Implantação:** Os operadores procuravam minimizar interrupções e, quando necessário, solicitavam a presença do programador das máquinas injetoras para realizar substituições temporárias. Não havia qualquer registro de tempo de máquina parada.

**Situação Após da Implantação:** A estratégia de evitar paradas continua vigente; no entanto, agora todas as interrupções, incluindo *setup*, manutenções e paradas devido a quebras no canal de injeção, são registradas. Como dito anteriormente, a digitalização permite acelerar o fluxo de informações, possibilitando um acompanhamento histórico da produção, permitindo assim uma rápida intervenção de ações preventivas e, eventualmente, corretivas (Oliveira Júnior *et al.*, 2024).

**Resultados Alcançados:** O novo sistema cria uma parada toda vez que acontece uma ausência de contagem por um período pré-determinado (máquina não produzindo). Essa parada já diminui a variável “Disponibilidade” do *OEE*, pois como aponta Somensi (2022), todo episódio em que a equipamento fique parado por uma

ocasião diminuirá a disponibilidade e por consequência o *OEE*. Além disso, o sistema passou a dar informações como a linha do tempo de cada máquina, mostrando em que momento do dia ocorreu cada parada, facilitando a gestão do líder do setor.

Para a equipe tática, essa parte do sistema trouxe a possibilidade de analisar, por meio de gráficos de Pareto, as principais causas de paradas, além da possibilidade do acompanhamento do histórico de paradas para entender se há um aumento ou diminuição ao longo do tempo.

#### 5.1.1.4 *Acompanhamento da performance*

**Situação Antes da Implantação:** O programador de injetora fazia a troca de molde e programava a injetora para disparar o alarme sonoro em um tempo estipulado caso houvesse muita demora para terminar um ciclo. O problema é que o operador sempre poderia alterar nesse alarme, aumentando o tempo de disparo.

**Situação Após da Implantação:** Continuou-se a utilizar o alarme sonoro, porem agora é possível acompanhar o tempo de ciclo pelos tablets, junto com histórico e também a performance em tempo real da máquina.

**Resultados Alcançados:** O operador também passou a acompanhar sua performance, eficiência, e um gráfico mostrando o tempo médio de ciclo cadastrado e tempo médio de ciclo realizado por hora, como pode ser visto na terceira tela da Figura 12. O monitoramento do *OEE* em tempo real é possível devido às tecnologias da indústria 4.0. Isso traz ao operador a possibilidade de monitorar sua performance individual, buscando aproximar-se do ciclo produtivo esperado (Novochadlo; Paladini, 2024). O líder de produção passou a ter a performance de cada operador na palma da mão por qualquer gadget, o que é uma das características da computação em nuvem citadas por Oliveira Júnior e Schimiguel (2019).

#### 5.1.2 **Gestão Tática da Qualidade**

Conforme apontado por Paladini (2019a), a gestão da qualidade no nível tático é relacionada a como os recursos da organização serão operados, de modo que os objetivos propostos sejam efetivamente alcançados. Considerando o exposto, pode-se destacar as seguintes mudanças a gestão tática da qualidade.

### 5.1.2.1 Método de decisão sobre o que produzir

**Situação Antes da Implantação:** O líder do setor determinava o que produzir com base em uma inspeção visual dos estoques intermediários, priorizando itens que pareciam estar em menor quantidade.

**Situação Após da Implantação:** Para otimizar o uso do sistema, as decisões de produção passaram a ser guiadas pelo setor de PCP que faz a abertura das OPs e as programa na ordem em que devem ser produzidas. Após a conclusão da produção, a ordem é encerrada pelo próprio operador.

**Resultados Alcançados:** Com a implementação dessas práticas, a produção tornou-se mais assertiva, garantindo a fabricação das peças certas na quantidade exata necessária. Conforme já discutido por Björklöf e Castro (2022), a disponibilização de dados precisos e informativos coletados por *IoT* resulta em processos de produção mais transparentes e uma tomada de decisão orientada por dados.

O Quadro 2 apresenta dois cenários, o primeiro ao final de 2022 e o segundo ao final de 2023, evidenciando uma diminuição no estoque. Essa redução corrobora com Cañizares (2018), que destacou que a implementação do *IoT* resultou em uma melhoria na tomada de decisões do processo de planejamento, além de uma redução significativa nos níveis de estoque.

Quadro 2 – Comparação dos estoques no final de 2022 e 2023.

	Cenário 31/12/2022	Cenário 31/12/23	Observações:
<b>Produtos em linha</b>	177	194	9% a mais de produtos
<b>Estoque Intermediário</b>	75.520	53.482	Redução de 29,18% de peças
<b>Itens escassos</b>	42 – 23,7%	34 - 17,34%	Diminuição do número de peças faltantes no estoque intermediário
<b>Peças sobrecarregadas</b>	27.783	15.183	Diminuiu 46,4%
<b>WIP no setor</b>	180710	113.419	WIP diminuiu em 37,24%

Fonte: O autor (2024)

Outro ponto importante é sobre a redução de horas extras no setor, pois a partir dos dados disponíveis pôde-se tomar decisões mais assertivas, resultando em

uma redução de 38.28% das horas extras do setor como um todo. Esse é outro ponto que a pesquisa do Cañizares (2018) trouxe, já que em sua pesquisa a capacidade de produção da fábrica foi ampliada em cerca de 25% devido à redução da carga de trabalho decorrente de um melhor gerenciamento dos processos.

Aqui fica novamente evidente a redução de custos, seja pela diminuição de estoque, ou pela diminuição das horas extras. O estudo de Cañizares (2018) corrobora com os dois resultados citados acima, e alega diversas melhorias alcançadas devido as tecnologias como *IoT*, que reduziram custos em estoque por meio da redução de erros e maior eficiência. Por determinação da empresa estudada, os valores de custos de operação não podem ser divulgados, razão pela qual não foram quantificados neste estudo.

#### 5.1.2.2 *Ordens de Produção (OPs)*

**Situação Antes da Implantação:** Por uma questão cultural, as ordens de produção permaneciam constantemente abertas no sistema, o que significava que durante o ano, apontava-se determinado produto fabricado sempre na mesma determinada OP, sobrecarregando a mesma. Era responsabilidade do líder do setor decidir quais itens produzir.

**Situação Após da Implantação:** Para otimizar o uso do sistema, as ordens de produção começaram a ser abertas conforme as decisões do setor de PCP sobre o que produzir. Após a conclusão da produção, a ordem era encerrada antes de se iniciar uma nova.

**Resultados Alcançados:** Tornou-se viável medir o *OEE* por ordem de produção, estabelecer uma fila de produção e organizar o setor de forma mais eficiente, prevendo o que seria produzido nos próximos dias. Além de poder rastrear onde ela foi produzida, em que turno, por qual operador. Rastrear os processos ao longo da cadeia produtiva é uma característica da indústria 4.0 (Hahn, 2016). A pesquisa realizada por Cañizares (2018) também evidencia o aumento de rastreabilidade em seu estudo de caso, onde a eficiência da rastreabilidade aumentou em 15%.

### 5.1.2.3 *Gestão do estoque WIP de Produção (OPs)*

**Situação Antes da Implantação:** Em janeiro de 2022, o estoque do setor era composto por 171.983 unidades. Um ano depois, janeiro de 2023, o número de peças em estoque subiu para 180.710, o que representa um aumento de 8.727 unidades.

**Situação Após da Implantação:** Em janeiro de 2024, o setor iniciou o ano com um estoque *WIP* de 113.419 peças.

**Resultados Alcançados:** Com a transferência da responsabilidade de decisão sobre o que produzir para o PCP, o setor passou a produzir exclusivamente conforme a demanda. Isso assegurou que apenas o necessário fosse fabricado, evitando a produção excessiva. Além disso, com a métrica do *OEE* sendo utilizada ativamente, foi possível ajustar o estoque com base na eficiência do setor, otimizando a gestão de estoques.

### 5.1.3 **Gestão Estratégica da Qualidade**

Quanto ao nível estratégico, destacam-se mudanças sobre como a organização projeta seu futuro no relacionamento com o ambiente externo, ou seja, como ela se relaciona com o mercado. Abaixo pode-se observar 4 pontos importantes influenciados pelas tecnologias implantadas na gestão da empresa:

#### 5.1.3.1 *Indicadores de desempenho*

**Situação Antes da Implantação:** Anteriormente, os únicos indicadores utilizados eram os de produção diária e a quantidade de refugo.

**Situação Após da Implantação:** Após a implantação, a empresa adotou mais indicadores, incluindo as variáveis qualidade, desempenho, disponibilidade, *OEE*, comparação entre o tempo de ciclo médio e o nominal.

**Resultados Alcançados:** A introdução desses indicadores permitiu um monitoramento mais efetivo da eficiência operacional e facilitou a identificação de áreas passíveis de melhorias. Isso possibilitou um dimensionamento mais preciso do setor, auxiliando decisões sobre contratações e estimativas de tempo de entrega. Conforme Ré (2018), os indicadores desempenham um papel primordial em uma

organização, pois agregam informações valiosas de diferentes fontes e fornecem uma visão geral da evolução organizacional.

#### 5.1.3.2 *Diversificação da produção*

**Situação Antes da Implantação:** Em janeiro de 2023, a empresa contava com uma linha de produção que abrangia 177 produtos injetados.

**Situação Após da Implantação:** Já em janeiro de 2024, houve um aumento de 9% na variedade de produtos injetados pela empresa.

**Resultados Alcançados:** Mesmo com esse incremento na diversificação da produção, o setor de injeção conseguiu diminuir a falta de peças no estoque intermediário e também as horas extras. Isso aconteceu por que o setor adquiriu uma maior flexibilidade para atender demandas variadas.

A expansão da quantidade de produtos oferecidos pode ser uma estratégia eficaz para conquistar novos segmentos de clientes e se destacar da concorrência. Paranitharan *et al.* (2017) defendem que, para se destacar no mercado atual, as organizações precisam redefinir suas estratégias, permitindo uma alocação mais eficiente de recursos e projetando ganhos a longo prazo. Essa mudança requer investimentos em infraestrutura e sistemas de gestão de qualidade, representando uma transformação de paradigma nas estratégias de fabricação e na mentalidade dos fabricantes para competir em escala global.

#### 5.1.3.3 *Entregas mais rápidas*

**Situação Antes da Implantação:** A velocidade de entrega sempre foi uma característica estratégica da empresa em estudo. O estoque intermediário, utilizado entre o setor de injeção e o setor de pintura, tinha dois propósitos: regular a diferença de flutuação entre os dois setores e melhorar o tempo de entrega da fábrica.

**Situação Após da Implantação:** Após um ano, foi observada uma redução nas faltas de peças no estoque intermediário, uma redução no número de peças no estoque *WIP* e no estoque intermediário, e uma ampliação na variedade de peças.

**Resultados Alcançados:** Essa mudança possibilitou à empresa entregar uma variedade maior de produtos acabados em um tempo mais ágil. O novo sistema

trouxe agilidade para que o PCP pudesse tomar decisões e para que a operação pudesse fabricar seus produtos. A integração entre os diversos recursos é fundamental, e a manifestação da Indústria 4.0 tem impulsionado uma série de ações cruciais para a sobrevivência estratégica em vários setores industriais. Os avanços tecnológicos têm o potencial de minimizar significativamente os processos ineficientes, beneficiando as empresas que buscam aprimorar suas operações (Teoh *et al.*, 2021 apud Terra, 2022).

#### 5.1.3.4 Orientação a dados

**Situação Antes da Implantação:** Anteriormente, as reuniões eram baseadas principalmente em intuições, com poucos dados fundamentando as decisões.

**Situação Após da Implantação:** As reuniões são muito mais centradas nos dados sobre o que está de fato acontecendo, estoque *WIP*, indicadores, etc.

**Resultados Alcançados:** De acordo com Terra (2022), quando analisado sob uma perspectiva estratégica, o uso de tecnologias é percebido como um diferencial competitivo. As organizações empregam tecnologias como uma vantagem competitiva, especialmente diante da crescente complexidade do mercado. Essa mudança para uma orientação a dados nas reuniões reflete uma abordagem mais informada e estratégica na tomada de decisões, potencialmente impulsionando a eficácia e a competitividade da organização.

Para responder aos objetivos específicos desse estudo, primeiramente uma análise dos dados será mostrada, junto com uma linha do tempo dos acontecimentos durante o período de janeiro de 2023 até o dia 28 de abril de 2024, totalizando 69 semanas de coleta de dados.

## 5.2 IMPACTO DOS CONCEITOS E TECNOLOGIAS NO OEE.

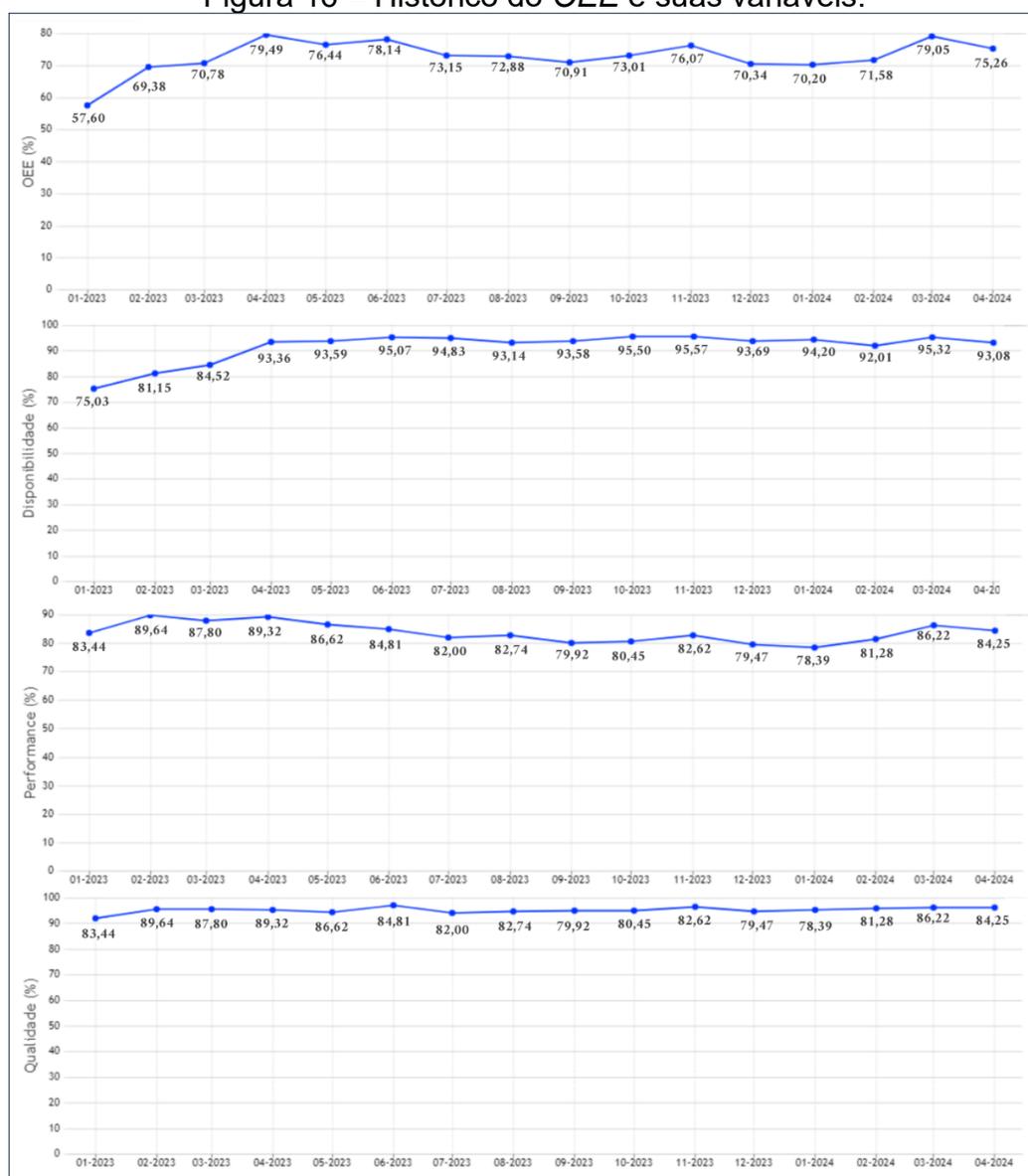
O primeiro mês de dados coletados começou com um *OEE* de 57,61%. A partir desse momento é possível ver o indicador subindo. A Figura 16 mostra o histórico do *OEE* e suas variáveis durante todo o período analisado. Segundo Hansen (2006), cenários onde o *OEE* é abaixo de 65% devem ser considerados inaceitáveis.

Como já exposto, o *OEE* é o produto das três variáveis: a disponibilidade, a performance e a qualidade. Observa-se que o *OEE* apresenta níveis baixos nos três

primeiros meses, predominantemente devido ao baixo desempenho da disponibilidade.

Durante o ano de 2023 o indicador apresentou variações, sempre registrando resultados superiores em relação ao início do ano. Observa-se que a disponibilidade iniciou em um patamar bastante baixo e, ao longo dos quatro meses seguintes, demonstrou uma tendência ascendente, resultado do trabalho de colaboração entre a equipe tática e operacional. É importante ressaltar que a disponibilidade mede o tempo em que a máquina está em funcionamento, e qualquer interrupção não planejada, como manutenção corretiva ou troca de ferramentas, resultará na redução desse indicador (Somensi, 2022; Björklöf; Castro, 2022).

Figura 16 – Histórico do OEE e suas variáveis.



Fonte: O autor, 2024.

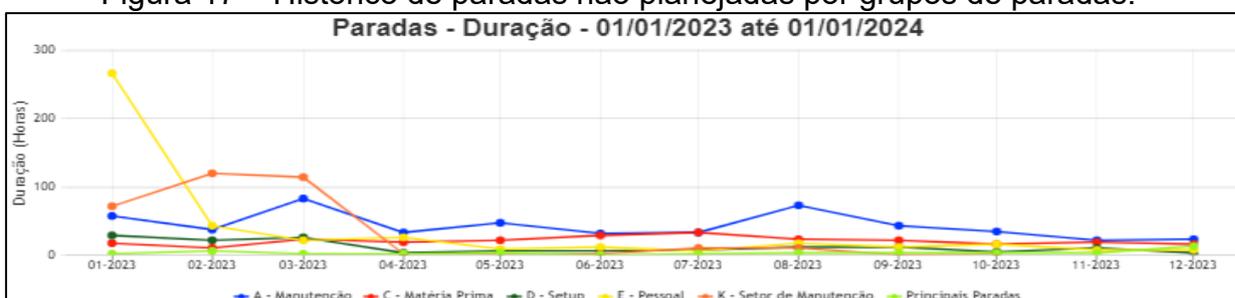
Em relação à performance, embora tenha começado um pouco mais baixa em janeiro, a equipe operacional conseguiu melhorar esse aspecto nos meses subsequentes. É válido mencionar que Nakagima (1988) identifica a performance como uma das seis grandes perdas em um processo produtivo.

Por último, em relação à qualidade, esse indicador não apresentou uma variação significativa.

### 5.2.1 Disponibilidade

Para compreender a ascensão da disponibilidade, a Figura 17 fornece uma análise detalhada do histórico de paradas não planejadas, agrupadas por categorias. Ao examinar a imagem, é evidente que nos três primeiros meses de 2023, houve uma significativa perda de disponibilidade, particularmente associada a problemas nos grupos "K - Setor de Manutenção" e "E - Pessoal".

Figura 17 – Histórico de paradas não planejadas por grupos de paradas.

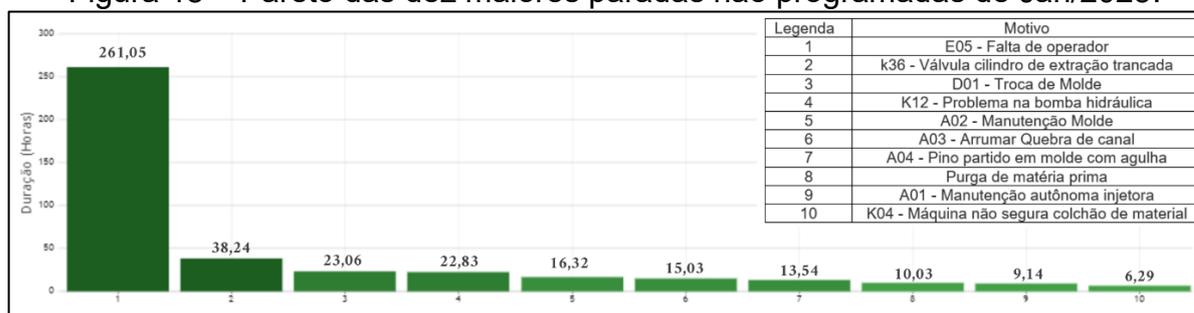


Fonte: O autor, 2024.

Em janeiro de 2023, a saída de um funcionário resultou na paralisação de uma máquina, impactando negativamente a disponibilidade do setor. Além disso, ocorreram três grandes interrupções no grupo "K": a primeira devido a uma falha na bomba hidráulica da Injetora 7; a segunda foi causada por uma válvula obstruída no cilindro de extração da injetora 4; e a terceira interrupção, na injetora 3, foi provocada pela incapacidade da máquina de manter um colchão adequado de material no cilindro. Esses incidentes justificam o destaque dos grupos "A" e "K" como os principais contribuintes para os problemas de disponibilidade enfrentados em janeiro.

A Figura 18 ilustra as 10 principais causas de perda de disponibilidade em janeiro de 2023, fornecendo uma visão clara das áreas que necessitavam de atenção.

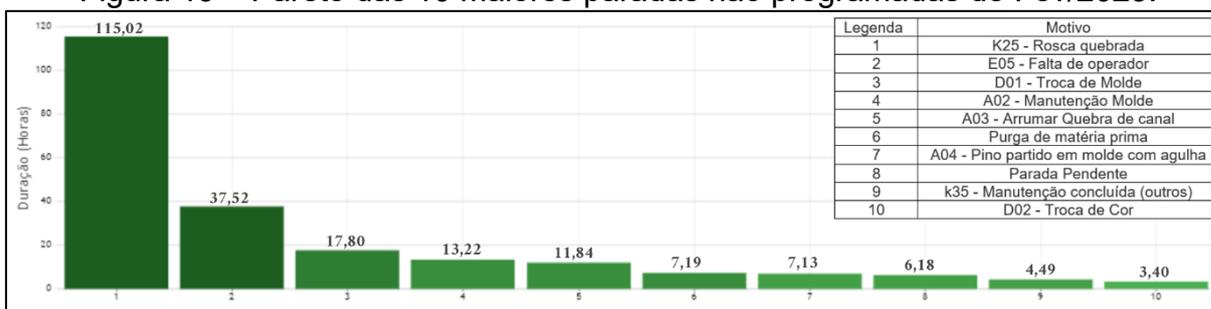
Figura 18 – Pareto das dez maiores paradas não programadas de Jan/2023.



Fonte: O autor, 2024.

Em fevereiro, ocorreu uma quebra na injetora 4, que ficou inativa por um período ao longo de fevereiro e março, diminuindo a disponibilidade do setor. Quanto ao problema da falta de operador, que se iniciou em janeiro, este foi resolvido no começo de fevereiro, resultando numa redução de 223,53 horas de parada. A Figura 19 mostra o Pareto das 10 maiores paradas não programadas do mês de fevereiro.

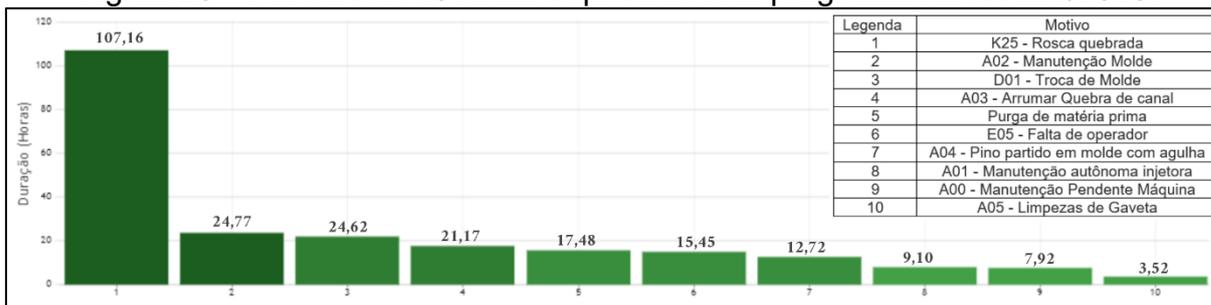
Figura 19 – Pareto das 10 maiores paradas não programadas de Fev/2023.



Fonte: O autor, 2024.

Em março, a parada K25 - Rosca quebrada foi finalmente encerrada em 10/03 com a chegada da peça que estava faltando, o que permitiu ao setor regularizar em certa medida as perdas ocorridas em janeiro e fevereiro. A Figura 20 apresenta as 10 maiores paradas não programadas durante o mês de março.

Figura 20 – Pareto das 10 maiores paradas não programadas de Mar/2023.



Fonte: O autor, 2024.

É perceptível que algumas das paradas recorrentes ao longo de todos os meses eram relacionadas a atividades cotidianas, como "D01 - Troca de Molde" e "A02 - Manutenção de Molde". Diante dessa constatação, a equipe tática, a partir do treinamento adquirido e com base na Figura 10 na etapa "Operação", buscou soluções para reduzir as perdas pelas quais a equipe operacional vinha enfrentando dificuldades

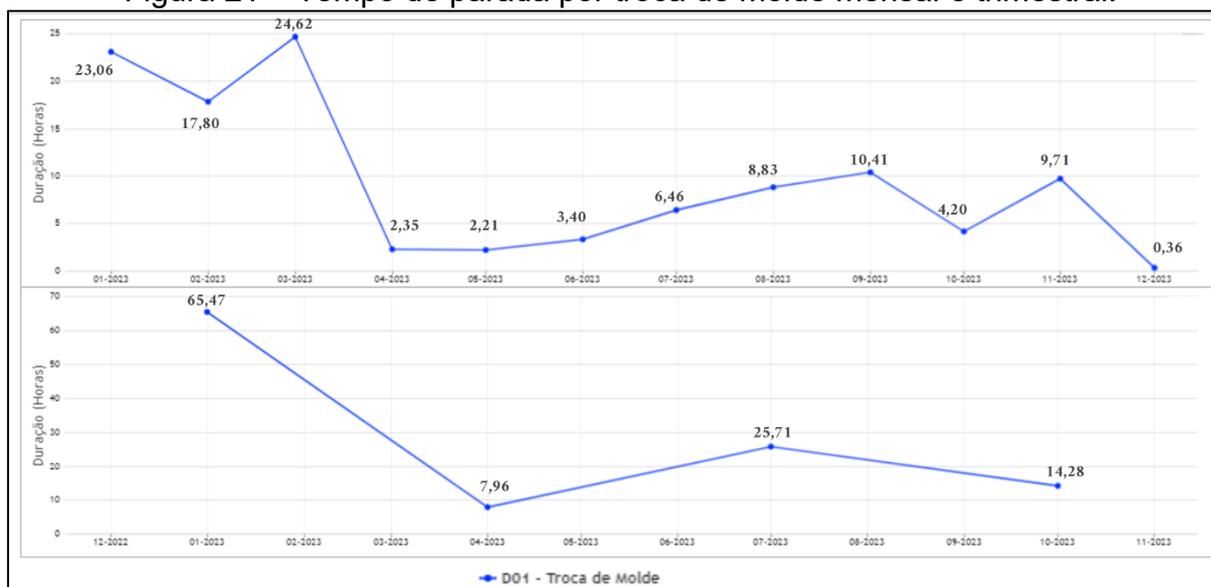
#### *5.2.1.1 Parada "D01 - Troca de Molde"*

Devido à importância do grande número de produtos como um dos atributos estratégicos da gestão da qualidade da empresa, a parada "D01 - Troca de Molde" é uma interrupção difícil de ser evitada. No entanto, em 13 de março de 2023, duas novas injetoras foram incorporadas à operação. Essas aquisições visavam modernizar os equipamentos da empresa e aumentar a produção, caso necessário.

Com o aumento do número de máquinas disponíveis, foi decidido implementar uma estratégia para aumentar o tempo de disponibilidade. Quando um operador concluísse a produção de uma OP, ele seria realocado para outra máquina que já teria sido preparada para iniciar a produção. Isso permitiu que grande parte das trocas de moldes ocorresse em injetoras que estavam em paradas planejadas, aumentando assim o tempo disponível para produção no setor.

A Figura 21 demonstra que, a partir de abril, o tempo perdido devido às trocas de ferramentas diminuiu drasticamente. Essa melhoria resultou de uma estratégia desenvolvida pela gestão tática, que segundo Paladini (2019b), está ligada a definição de métodos para aprimorar as operações.

Figura 21 – Tempo de parada por troca de molde mensal e trimestral.



Fonte: O autor, 2024.

### 5.2.1.2 Parada "A02 - Manutenção de Molde"

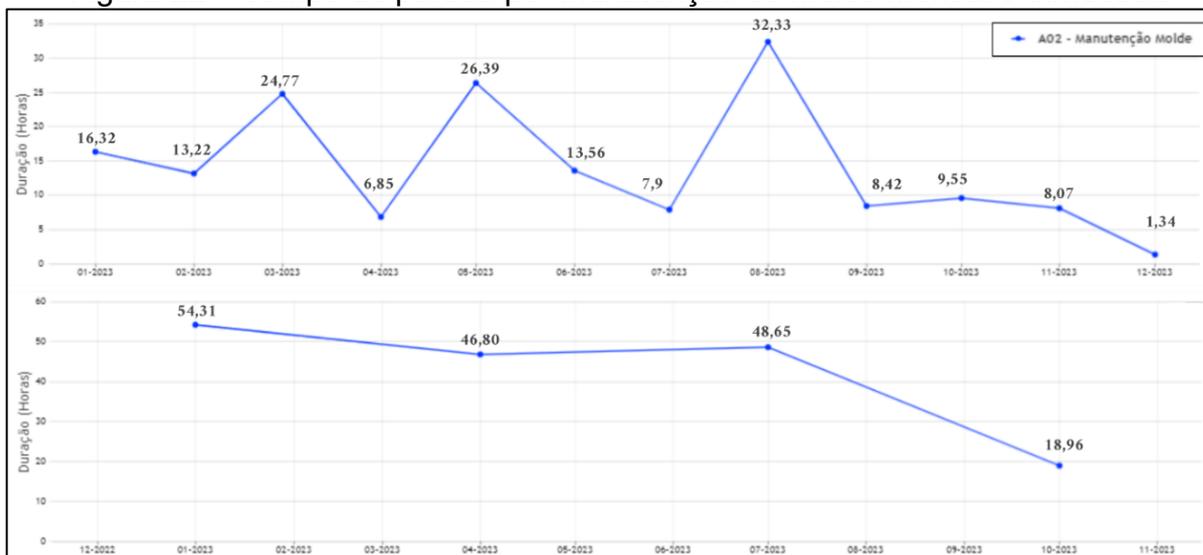
A parada "A02 - Manutenção de Molde" também se manteve consistentemente entre as 10 maiores paradas nos meses de janeiro a março de 2023. Após uma análise abrangente de todas as paradas ao longo do ano, estratificando por ordens de produção e datas, a equipe tática quantificou que apenas 20% das paradas causadas por esse tipo de manutenção correspondiam a pelo menos 45% do tempo total de parada. Em outras palavras, um pequeno número de paradas contribuía significativamente para a maior parte do tempo perdido.

Para mitigar essas interrupções, uma medida foi implementada no final de agosto, após um pico de 32 horas de parada devido à manutenção de molde. A equipe tática identificou que em algumas dessas paradas, o molde poderia ter sido enviado para a manutenção, iniciado a produção de outra peça em seu lugar.

Com isso, foi estabelecido um procedimento: quando for necessária uma manutenção de molde, o líder do setor deve consultar a equipe de ferramentaria para avaliar a complexidade da manutenção necessária. Se a manutenção for considerada complexa, o líder deve informar ao PCP, que tomará a decisão de aguardar a conclusão da manutenção ou de produzir outro item no lugar.

Este procedimento permitiu uma significativa redução desse tipo de parada a partir de setembro. A Figura 22 ilustra o tempo de manutenção de moldes, tanto em análises mensais quanto trimestrais, evidenciando a diminuição dessas interrupções.

Figura 22 – Tempo de parada por manutenção de molde mensal e trimestral.



Fonte: O autor, 2024.

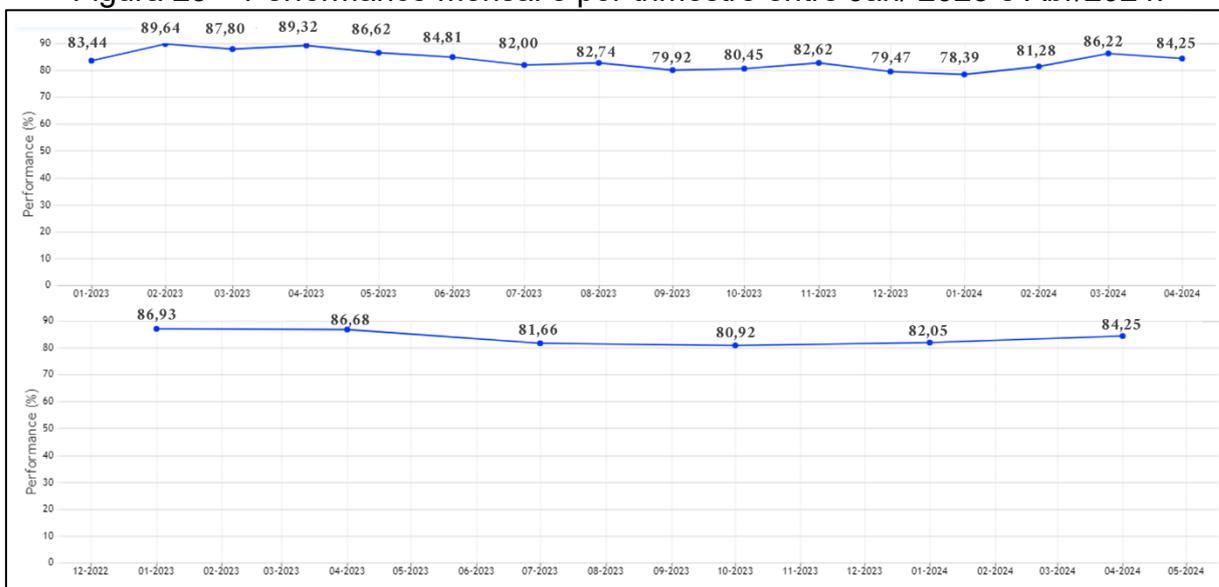
## 5.2.2 Performance

A segunda variável do *OEE* é a Performance. Ela está associada à velocidade de produção e é diminuída quando o tempo de ciclo real for maior do que o tempo de ciclo planejado, ou devido a breves interrupções na operação do equipamento que não requerem uma paralisação total da produção (Somensi, 2022; Björklöf; Castro, 2022). A Figura 23, exibe a variação histórica da performance. Observa-se que ela começa a declinar a partir de junho de 2023, atingindo níveis significativamente baixos em fevereiro de 2024.

Durante o mesmo período em que se observa uma queda na performance, o setor de injeção passou também por uma troca de funcionários. Em 30 de maio ocorreu a troca do líder do setor e do programador das injetoras. Esta mudança trouxe um período de transição em que as habilidades e conhecimentos necessários foram transmitidos de um funcionário do setor para outro. No entanto, esse processo não incluiu treinamento específico para o uso do *software* das injetoras. Portanto, toda a familiarização com as tecnologias aplicadas ocorreu por meio de passagem de

conhecimento informal entre funcionários, sem uma estrutura formal de treinamento, desconhecendo métodos de como agir para garantir uma boa eficiência.

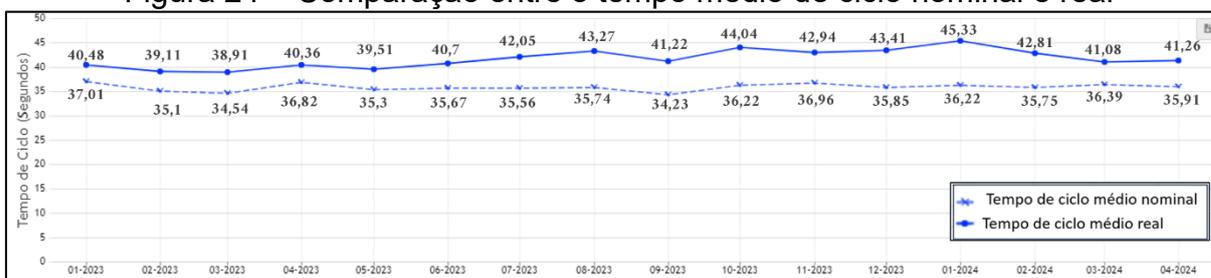
Figura 23 – Performance mensal e por trimestre entre Jan/ 2023 e Abr/2024.



Fonte: O autor, 2024.

Apesar do treinamento informal, a queda da variável performance foi aumentando durante os meses seguintes. Isso se torna perceptível ao fazer a comparação entre o tempo de ciclo médio nominal e o tempo de ciclo médio real por mês como mostra a Figura 24.

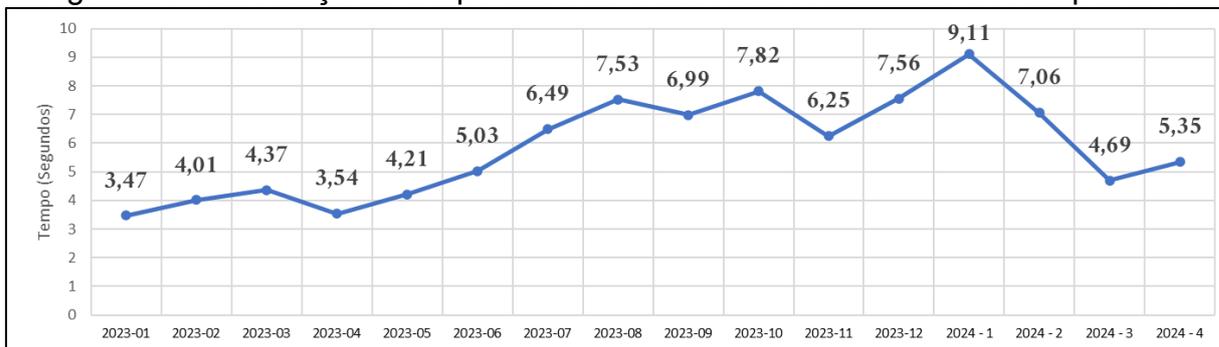
Figura 24 – Comparação entre o tempo médio de ciclo nominal e real



Fonte: O autor, 2024.

A diferença entre os tempos de ciclo fica ainda mais clara, que aumentaram na Figura 25, onde mostra que essa diferença vem crescendo desde abril, chegando ao ápice em janeiro de 2024 com 9,11 segundos de diferença entre o tempo de ciclo médio nominal e o tempo de ciclo médio real.

Figura 25 – Diferença de tempo entre os ciclos médios nominais e reais por mês.



Fonte: O autor, 2024.

Em fevereiro de 2024, ao analisar a performance a equipe tática identificou-se um problema na produção e realizou uma reunião com as partes interessadas. Na reunião foi decidido que o líder e o abastecedor deveriam passar por um treinamento Operacional para poderem identificar e solucionar os problemas em tempo real.

A Figura 26 mostra a diferença dos tempos de ciclos antes e depois do treinamento. O treinamento aconteceu no dia 20 de fevereiro de 2024, no início da semana 8.

Figura 26 – Diferença entre os tempos de ciclo real e nominal no ano de 2024.



Fonte: O autor, 2024.

É possível notar que o efeito do treinamento foi quase imediato, onde a partir da 8ª semana a diferença entre tempos de ciclos real e nominal diminuiu. A literatura corrobora com a importância do treinamento de colaboradores para a incorporação efetiva das tecnologias associadas à Indústria 4.0. Por exemplo, Bakhsh e Raj (2019) estudaram a implantação de um *IoT* para capturar o *OEE* em uma linha de montagem industrial e citam a necessidade de que os operadores passassem por treinamentos sobre o sistema implantado. Santos *et al.* (2018b) cita que a Volkswagen tem investido

em *software*, *hardware* e treinamento para que os funcionários passem a lidar com essa nova realidade que é a indústria 4.0.

Büth *et al.* (2018) destaca a necessidade de educação e treinamento para preparar os funcionários para as mudanças decorrentes da rápida digitalização, incluindo conhecimentos teóricos e habilidades práticas relacionadas à aquisição, processamento, visualização e interpretação de dados. Terra (2022) expande essa visão ao argumentar que a transformação para as práticas da Indústria 4.0 vai além da atualização dos sistemas de produção, impactando também a natureza do trabalho, tornando mais relevantes as atividades baseadas no ser humano, como treinamento, envolvimento e empoderamento dos trabalhadores, tornando-as mais qualificadas e com características multifuncionais.

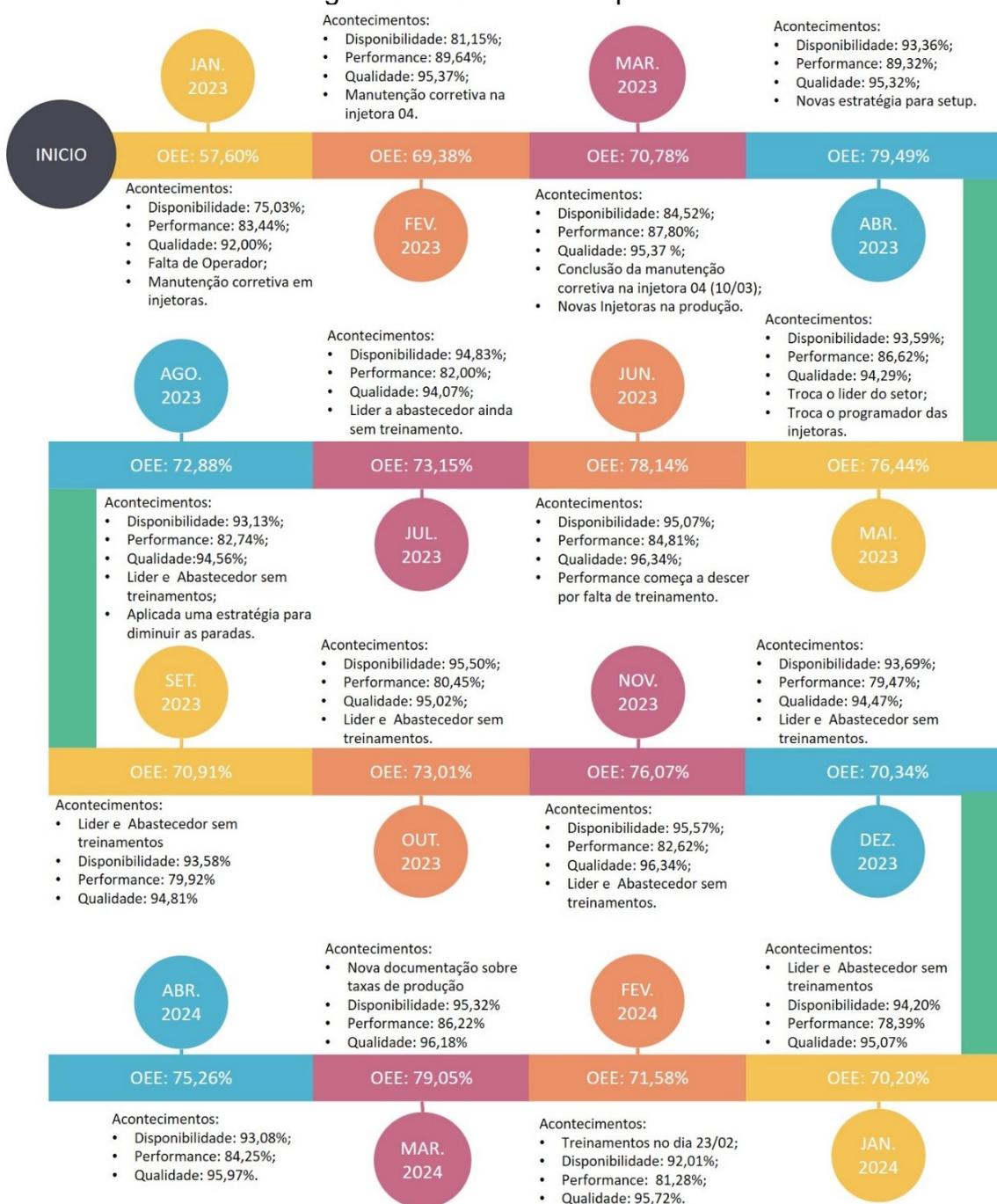
### **5.2.3 Qualidade**

Nesse estudo, na qualidade criou-se um projeto de resfriamento para o molde onde observou-se a redução do defeito chamado de contaminação. Porém, como a quantidade de moldes é muito grande, optou-se em começar a trabalhar apenas com os lançamentos. Assim, será necessário um tempo maior de análise para verificar se esse projeto melhorou essa variável.

### **5.2.4 Linha do Tempo**

Para entender um pouco melhor a variação do *OEE* e sus variáveis uma linha do tempo foi criada na Figura 27 mostrando como o indicador se comportou.

Figura 27 – Linha do tempo do estudo.



Fonte: O autor, 2024.

É possível notar que a variação do *OEE* aconteceu principalmente a partir de duas variáveis, a disponibilidade e a performance. Para garantir melhor disponibilidade, foram criadas estratégias de diminuir as paradas, como troca de molde e manutenção de molde. A partir disso foi possível ter uma estabilização da disponibilidade entre 93% e 95%.

Quanto à performance, é possível identificar que a falta de preparação dos profissionais para lidar com as mudanças decorrentes da rápida evolução da digitalização é uma dificuldade, porém ela pode ser amenizada a partir de treinamentos. Em concordância com as ideias de Büth *et al.* (2018), é crucial providenciar treinamento adequado aos colaboradores, visando garantir sua compreensão do conceito da ferramenta, incluindo o entendimento do *OEE*, a interpretação dos gráficos em tempo real e os métodos de como agir para diminuir as perdas. Essas habilidades são fundamentais para que a contribuição dos funcionários vá além da mera operação de *software*.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos objetivos propostos e dos resultados obtidos, pode-se concluir que o conceito de transformação digital, por meio de métodos de coleta e disposição de dados utilizando tecnologias da Indústria 4.0, como *IoT*, *Big Data* e Computação em Nuvem, impactou significativamente a gestão da qualidade da empresa estudada em seus três níveis.

Na gestão da qualidade operacional, os apontamentos de produção passaram a ocorrer de forma automática, eliminando os apontamentos em papéis, ao mesmo tempo que elimina os apontamentos atrasados. Com apontamentos automáticos, o setor passou também a obter a variável do *OEE* chamada “Performance”, onde o líder de produção pôde acompanhar a velocidade em que cada máquina estava trabalhando por meio de equipamentos como *tablets*, *smart TVs*, celulares e computadores. Os apontamentos de refugo passaram a ser feitos pelo operador em tempo real, dando acesso à variável do *OEE* chamada “Qualidade” e diminuindo o trabalho do setor de apontamento de refugo. Os apontamentos de paradas passaram a existir, sendo realizados pelos próprios operadores, dando ao líder do setor um maior controle sobre a produção e à equipe tática um rico histórico para trabalhar.

No nível tático a transformação digital trouxe mais controle ao PCP, que conseguiu dimensionar melhor os estoques por meio dos indicadores obtidos. A transparência que a transformação digital trouxe fez com que o PCP melhorasse seu controle, tanto com as ordens de produção na questão de rastreabilidade como também nas tomadas de decisões sobre o que produzir, pois todos os apontamentos estavam indo para o *ERP* de três em três horas, dando uma confiança ao inventário.

No âmbito estratégico é possível identificar o impacto em questões como novos indicadores de desempenho, a diminuição de faltas em estoque intermediário – mesmo com o aumento da variedade de produtos injetados –, entregas mais rápidas ao centro de distribuição devido ao estoque intermediário estar abastecido e, por último, a transformação da empresa para um ambiente orientado a dados.

Em relação aos objetivos específicos, pode-se afirmar que houve dificuldades na implantação e utilização das novas tecnologias. Trabalhar com injetoras de diferentes marcas complicou a padronização da coleta de dados, exigindo adaptações específicas para cada uma das marcas. Além disso, o estudo revelou que uma indústria de médio porte também pode enfrentar desafios em relação às habilidades

necessárias para a adoção dessas tecnologias. Portanto, é fundamental treinar todos os colaboradores envolvidos, para que possam se integrar plenamente à essa tecnologia, evitando se tornarem apenas operadores de software e capacitando-os para que possam entender os dados fornecidos pelo sistema de forma a facilitar a busca por melhorias.

Quanto ao impacto da transformação digital nas variáveis do *OEE*, observou-se que, com a *IoT* coletando dados em tempo real, o *Big Data* processando esses dados e a computação em nuvem proporcionando acesso a eles de qualquer lugar, houve uma maior transparência nos dados e uma redução significativa no tempo de resposta às perdas produtivas. Isso permitiu uma tomada de decisão baseada em dados e em tempo real, facilitando o controle das variáveis e contribuindo para a melhoria das variáveis do *OEE*.

Notou-se uma melhoria significativa na disponibilidade do *OEE* desde o início do estudo até abril de 2024. Em termos de performance, houve uma queda acentuada após a troca de funcionários em junho de 2023, mas uma recuperação foi observada em fevereiro de 2024, logo após o treinamento, evidenciando que colaboradores bem treinados podem rapidamente melhorar essa variável. Em relação à qualidade, um projeto foi iniciado em 2024, mas será necessário mais tempo para identificar mudanças nessa variável.

O estudo demonstra que a adoção de tecnologias emergentes da Indústria 4.0, quando corretamente implantadas, pode ajudar as indústrias brasileiras a aprimorarem seus processos, aumentarem a produtividade e alcançarem um diferencial competitivo no mercado. Além disso, evidencia-se que os processos de digitalização podem ser amplamente implementados em empresas brasileiras de pequeno e médio porte, mesmo diante de desafios como a cultura organizacional, a falta de conhecimento técnico, e a ausência de clareza sobre os custos e o retorno do investimento.

A pesquisa também demonstrou que a implementação dessas tecnologias pode resultar em benefícios tangíveis e mensuráveis, como a redução de custos, o aumento da eficiência e melhorias na qualidade em todos os níveis de gestão. É importante ressaltar que os resultados obtidos neste estudo foram alcançados graças ao esforço e dedicação dos colaboradores envolvidos, que contribuíram significativamente para a realização das mudanças relatadas. Além disso, o tempo foi uma limitação para avaliar não apenas os resultados na variável qualidade do *OEE*,

mas também um outro aspecto muito importante: a visão dos colaboradores em relação à transição para o novo sistema, comparando o antes e depois da implantação e como essa mudança havia impactado o trabalho deles.

Para estudos futuros, recomenda-se investigar o impacto da utilização de um *software* de *Advanced Planning and Scheduling (APS)* na gestão da qualidade, especialmente quando integrado com as tecnologias utilizadas neste estudo. A combinação desse tipo de *software* poderia afetar os estoques, as entregas e a eficiência dos setores de uma fábrica de médio porte, e a compreensão desse impacto seria valiosa para otimizar ainda mais a gestão da qualidade.

Outras sugestões para estudos futuros seriam (i) ampliar os setores da empresa em que a aplicação do modelo pode ser feita; (ii) utilizar novas ferramentas de Indústria 4.0, como os modelos táticos de descentralização de decisões, que podem agilizar ainda mais as operações do processo produtivo; e (iii) investir em melhorias localizadas em outros setores da empresa que impactam no setor investigado. Ademais, ferramentas da Indústria 4.0 podem ser utilizadas para certificar fornecedores, o que permite melhorar a qualidade da matéria-prima e agilizar o processo de organização dos suprimentos.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Perfil 2022** - Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico, 14 de set. 2023. Disponível em: [https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/perfil\\_2022\\_pt.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2023/09/perfil_2022_pt.pdf). Acesso em: 11 mai. 2024.

ADAMA, H. E.; POPOOLA, O. A.; OKEKE, C. D; AKINOSO, A. E. Economic theory and practical impacts of digital transformation in supply chain optimization. **International Journal of Advanced Economics**, v. 6, n. 4, p. 95-107, 2024. DOI: 10.51594/ijae.v6i4.1072. Acesso em: 11 mai. 2024.

ALBERTIN, M. R.; PONTES, H. L. J. **A Engenharia de Produção na Era da indústria 4.0**: Estudos de casos e benchmarking da indústria 4.0. Curitiba: Appris, 2021. ISBN 65-2501-135-3

ALI, S.; MIAH, S. J.; KHAN, S. Analysis of Interaction between Business Intelligence and SMEs: Learn from Each Other. **JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management**, Melbourne, v. 14, n. 2, p. 151–168, ago. 2017. Disponível em: [doi.org/10.4301/S1807-17752017000200002](https://doi.org/10.4301/S1807-17752017000200002). Acesso em: 11 mai. 2024.

AMMAR, M.; *et al.* Improving material quality management and manufacturing organizations system through Industry 4.0 technologies. **Materials Today: Proceedings**, Hoshiarpur, v. 45, n. 1, p. 5089 – 5096, fev. 2021. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.585](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.585). Acesso em: 11 mai. 2024.

ASTROGILDO, T. de; *et al.* Caracterizando o método misto de pesquisa na educação: um continuum entre a abordagem qualitativa e quantitativa. **Atos de pesquisa em educação**, v. 7, n. 4, p. 1157-1157, 2012. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/atosdepesquisa/article/view/1132>. Acesso em: 5 jul. 2024.

BAKSH, A. A.; RAJ, S. A. Increasing OEE of an assembly line using the Industrial Internet of Things. **Journal of mechanics of continua and mathematical sciences**, West Bengal, v. especial issue, n. 3 set. 2019. Disponível em: [10.26782/jmcms.spl.3/2019.09.00012](https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.3/2019.09.00012) Acesso em: 11 mai. 2024.

BJÖRKLÖF, C.; CASTRO, da A. **Implementation of Industrial Internet of Things to Improve Overall Equipment Effectiveness**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial e Gerenciamento) - Mälardalen University, Västerås, 2022.

BOUCHARD, S.; ABDULMOUR, G.; GAMACHE, S. Agility and Industry 4.0 implementation strategy in a quebec manufacturing SME, **Sustainability**, v.14, n. 13, p. 7884, jun. 2022. Disponível em: [doi.org/10.3390/su14137884](https://doi.org/10.3390/su14137884). Acesso em: 11 mai. 2024.

BRASIL, Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. [Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas e dispõe sobre a Câmara de Gestão e Acompanhamento do Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Máquina a Máquina e Internet

das Coisas]. **Diário Oficial Da União**. Art. 84, inciso VI, Brasília, DF, n. 121, p. 10-11, 26 jun. 2019. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=26/06/2019&jornal=515&pagina=10&totalArquivos=149>. Acesso em: 11 mai. 2024.

BRUNO, F. D. S. **A Quarta Revolução Industrial do Setor Têxtil e de Confeção: A Visão de Futuro para 2030**. 1. ed. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2016. ISBN 978-85-68552-31-5 E-book.

BÜTH, L. *et al.* Training concept for and with digitalization in learning factories: An energy efficiency training case. **Procedia manufacturing**, v. 23, p. 171-176, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.012>. Acesso em: 11 mai. 2024.

CAÑIZARES, E.; VALERO, F. A. Analyzing the effects of applying IoT to a metal-mechanical company. **Journal of Industrial Engineering and Management**, Valência, v. 11, n. 2, p. 308-317, abr. 2018. ISSN 2013-0953. Disponível em: [dx.doi.org/10.3926/jiem.2526](https://doi.org/10.3926/jiem.2526). Acesso em: 11 mai. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0. Cinco anos depois, 2022**. Disponível em: [www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-83-industria-40-cinco-anos-depois/](http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondesp-83-industria-40-cinco-anos-depois/). Acesso em: 11 mai. 2024.

CRUZ, C. F. da. **Os Efeitos Da Internet Das Coisas (IoT) Em Linhas De Montagens: Estudos De Caso Na Indústria De Autopeças**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - UNINOVE, São Paulo, 2020.

FALANI, L. A.; AGUIAR, C. R. L. de; FORNO, A. J. D. Mapeamento da literatura sobre as tecnologias da indústria 4.0 no segmento têxtil brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 42437–42452, jul. 2020. Disponível em: [10.34117/bjdv6n7-019](https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-019). Acesso em: 11 mai. 2024.

FAROUKHI, A. Z.; EL ALAOUI, I.; GAHI, Y.; AMINE, A. Big data monetization throughout Big Data Value Chain: a comprehensive review. **J Big Data**, Heidelberg, v. 4, n. 4, p. 1-22, jan. 2020a. Disponível em: [doi.org/10.1186/s40537-019-0281-5](https://doi.org/10.1186/s40537-019-0281-5). Acesso em: 11 mai. 2024.

FAROUKHI, A. Z.; EL ALAOUI, I.; GAHI, Y.; AMINE, A. An Adaptable Big Data Value Chain Framework for End-to-End Big Data Monetization. **Big Data and Cognitive Computing**, Basileia, v. 7, n. 3, p. 1-27, nov. 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bdcc4040034>. Acesso em: 11 mai. 2024.

FEW, S. **Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data**. O'Reilly Media, 2006. ISBN 05-9610-016-7.

GAMACHE, S.; ABDUL-NOUR, G.; BARIL, C. Development of a Digital Performance Assessment Model for Quebec Manufacturing SMEs. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. 2019, p. 1085–1094, 2020. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.196](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.196). Acesso em: 11 mai. 2024.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 31-43, 2009. ISBN 978-85-386-0071-8. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>. Acesso em: 11 mai. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. ISBN 85-224-3169-8.

GÖLZER, P; FRITZSCHE, A. Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. **Production Planning & Control**, Milton Park, v. 28, n. 16, p. 1332-1343, out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1375148>. Acesso em: 02 set. 2023.

GOVINDARAJU, R.; PUTRA, K. A methodology for Manufacturing Execution Systems (MES) implementation. In: IOP **Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2016. p. 012094. Disponível em: 10.1088/1757-899X/114/1/012094 Acesso em: 11 mai. 2023.

HAHN, J. R. **Você já sabe as oportunidades por trás da indústria 4.0?** 2016. Disponível em: [https://endeavor.org.br/uncategorized/oportunidades-industria-4\\_0/](https://endeavor.org.br/uncategorized/oportunidades-industria-4_0/). Acesso em: 27 jul. 2022

HANSEN, R. C. **Eficiência global de equipamentos: Uma poderosa ferramenta de produção / manutenção para o aumento dos lucros**. Porto Alegre: Bookman, 2006. ISBN 85-600-3102-2.

HORST, M. **Método de Diagnóstico para Apoio à Implantação da Cadeia de Ajuda em Empresas de Manufatura com Processos de Transformação Automáticos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFSC, Florianópolis, 2012.

HWANG, G. *et al.* Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. **International Journal of Production Research**, Milton Park, v. 55, n. 9, p 1-13. out. 2017. Disponível em: [doi.org/10.1080/00207543.2016.1245883](https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1245883). Acesso em: 23 abr. 2023.

ISHWARAPPA, K.; ANURADHA, J. A brief introduction on Big Data 5Vs characteristics and Hadoop technology. **Procedia computer science**, Bhubaneswar, v. 48, p. 319-324, abr. 2015. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.188](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.188). [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915006973?via%3Dihub](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915006973?via%3Dihub). Acesso em: 23 fev. 2023.

JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. **IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics**, Cluj-Napoca, Romania, v. 1, n. 1, p.1-4, mai. 2014. Trabalho apresentado na 2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. Disponível em: 10.1109/AQTR.2014.6857843. Acesso em: 23 abr. 2023.

JURAN INSTITUTE, **Quality 4.0: The Future of Quality**. Blog Instituto Juran. United States, 15 de jun. 2019. Disponível em: <https://www.juran.com/blog/quality-4-0-the-future-of-quality>. Acesso em: 23 abr. 2023.

KALTENBACH, F.; MARBER, P.; GOSEMANN, C.; BOLTS, T.; KUHN, A. Smart Services Maturity Level in Germany. **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings**, 2018. Disponível em: [10.1109/ICE.2018.8436329](https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436329). Acesso em: 11 mai. 2024.

KAPLAN, R.; NORTON, D. **A Estratégia em Ação: Balanced Scorecard 4ª ed.** Rio de Janeiro: Campus, 1997. ISBN 85-3520-149-1.

KHAN, M. A.; UDDIN, M. F.; GUPTA, N. Seven V's of Big Data understanding Big Data to extract value. In: Conference of the American Society for Engineering Education (p. 1-5). Bridgeport, (ASEE Zone 1), 2014. **Proceedings** [...]. Bridgeport: University of Bridgeport, 2014. Disponível em: [10.1109/ASEEZone1.2014.6820689](https://doi.org/10.1109/ASEEZone1.2014.6820689). Acesso em: 24 abr. 2023.

KIM, S.; HA, T. Influential Variables and Causal Relations Impact on Innovative Performance and Sustainable Growth of SMEs in Aspect of Industry 4.0 and Digital Transformation. **Sustainability**, v.15, p. 7310, 2023.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, Bloomington, v. 58, n. 4, p. 431-440, jul./ago. 2015. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008](https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008). Acesso em: 23 abr. 2023.

LEVITT, J. **TPM Reloaded: Total Productive Maintenance**. Nova Iorque: Industrial Press, 2010. ISBN 08-3113-426-7.

LINS, B. F. Ferramentas básicas da qualidade. **Ciência da Informação**, v. 22, n. 2, 1993.

LUGOBONI, L. F. *et al.* Alinhamento entre Planejamento Estratégico e Sistema de Informação Gerencial: Estudo em Empresas do Terceiro Setor com Atividade Hoteleira. **PODIUM Sport, Leisure and Tourism Review**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 79-105, jan./abr. 2018. Disponível em: [doi.org/10.5585/tlsr.v7i1.244](https://doi.org/10.5585/tlsr.v7i1.244). Acesso em: 23 abr. 2023.

MIRAGLIOTTA, G. *et al.* Data driven management in Industry 4.0: a method to measure Data Productivity. **IFAC-PapersOnLine**, Bergamo, v. 51, n. 11, p. 19-24, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.228>. Acesso em: 23 abr. 2023.

MELLO, C. H. P. *et al.* Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./fev.2012. Disponível em: [doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056](https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056). Acesso em: 13 fev. 2024.

MELO, C. A. *et al.* **Software como Serviço: Um Modelo de Negócio Emergente**. Paper Centro de Informática–Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2007. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~jhcp/publica/jhcp-saas.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

NAKAGIMA, S. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988. ISBN 09-1529-923-2.

NOVOCHADLO, Y. M.; PALADINI, E. P. The application of real-time overall equipment efficiency indicator in a medium-sized company. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 2, p. 2042, 2024. DOI: 10.14488/BJOPM.2042.2024. Acesso em: 26 may. 2024.

OLIVEIRA, D. de P. R. **Planejamento Estratégico: conceito e metodologia e práticas**, 15ª ed, São Paulo: Atlas 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. de; SCHIMIGUEL, J. Implementando uma Plataforma Big Data para Visualização de Dados Gerados por Dispositivo IOT. **Revista UBIQUIDADE**, Jundiaí, v. 2, n. 2, p 85 – 111, jul./dez. 2019. ISSN 2236-9031.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. C. de; SANTIAGO, S. B.; LIMA, O. P. de; MADURO, M. R.; SANTOS, A. de J. dos. Digitalização baseada na arquitetura RAMI e OEE: estudo de caso em empresa do subsetor termoplástico do polo industrial de Manaus. **Revista Tecnologia e sociedade**. Amazonas, v. 20, n. 59, p. 252 – 268, 2024. DOI: 10.3895/rts.v20n59.16435. Acesso em: 26 mai. 2023.

OLIVEIRA, M. A. H. **Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e Digitalização de um Processo de Controlo de Produção**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2020.

OLIVEIRA, M. **Estudo de viabilidade econômico-financeira e planejamento da implantação do apontamento de produção em tempo real em uma indústria de embalagens**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – IFSC, Caçador, 2022.

PACCHINI, A. P. T. **O grau de prontidão das empresas industriais para implantação da indústria 4.0: um estudo no setor automotivo brasileiro**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – UNINOVE, São Paulo, 2019.

PALADINI, E. P. **Avaliação estratégica da qualidade**. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-2246-195-3.

PALADINI, E. P.; BRIDI, E. **Gestão e avaliação da qualidade em serviços para organizações competitivas: estratégias básicas e o cliente misterioso**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2013. ISBN 85-2248-097-4.

PALADINI, E. P. **Gestão e Avaliação da Qualidade: uma abordagem estratégica**. São Paulo: Atlas, 2019a. ISBN 85-9702-230-2.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade: teoria e prática**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2019b. ISBN 85-9702-157-8.

PARANITHARAN, K.P.; BABU, R.; PANDI, P; JEYATHILAGAR D. An empirical validation of integrated manufacturing business excellence model. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 92, p. 2569-259, mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0271-8> Acesso em: 11 mai. 2023.

PARK, J. & BAE, H. Big data and ai for process innovation in the industry 4.0 era, **Applied Sciences**, Basel, v. 12, n. 13, p. 6346, jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12136346> Acesso em: 11 mai. 2023.

PIRES, F.; BARBOSA, J.; LEITÃO, P. Quo Vadis Industry 4.0: An Overview Based on Scientific Publications Analytics. **IEEE International Symposium on Industrial Electronics**, Bragança, p. 663–668, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISIE.2018.8433868> Acesso em: 11 mai. 2023.

POÓR, P.; BASL, J.; ŽENÍŠEK, D. Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development. In: **2019 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)**, Colombo, p. 245-253, mar. 2019. Disponível em: 10.23919/SCSE.2019.8842659. Acesso em 23 de abr. 2023.

RÉ, M. S. **Sistemas De Informação No Contexto Da Indústria 4.0: Uma Abordagem Lean Aos Fluxos De Informação Para O Cálculo De Indicadores**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade de Aveiro, Portugal, 2018.

REIS, E. S.; ANGELONI, M. T.; SERRA, F. R. Business Intelligence como tecnologia de suporte a definição de estratégias para a melhoria da qualidade de ensino. **Informação & Sociedade: Estudos**, João Pessoa, v. 20, n. 3, set./dez. 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/91414>. Acesso em: 17 jul. 2022.

RÜBMANN, M. *et al.* Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston consulting group**, Boston, v. 9, n. 1, p. 54-89, abr. 2015. Disponível em: [inovasyon.org/images/Haberler/bcgperspectives\\_Industry40\\_2015.pdf](http://inovasyon.org/images/Haberler/bcgperspectives_Industry40_2015.pdf) Acesso em 23 de abr. 2023.

SANIUK, S.; CAGANOVA, D.; SANIUK, A. Knowledge and skills of industrial employees and managerial staff for the industry 4.0 implementation. **Mobile Networks and Applications**, v. 28, n. 1, p. 220-230, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11036-021-01788-4>. Acesso em: 11 mai. 2024.

SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 111-124, mar. 2018a. Disponível em: [doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316](https://doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316). Acesso em 23 de abr. 2023.

SANTOS, M.; MANHÃES, A. M.; LIMA, A. R. Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. **Anais do X SIMPROD**, São Cristóvão, p. 317-329, nov – 2018b. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/10423> Acesso em: 11 mai. 2023.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1996. ISBN 85-7307-169-9.

SILVA, R. da; BARBOSA, J.; MICHEL, M. A importância da qualidade dos produtos para manter a competitividade das organizações. **Revista Científica Eletrônica de Administração**, Garça, n. 10, p. 6, jun. 2006. ISSN: 1676-6822 Disponível em: [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/U61NiRBgjtfysfw\\_2013-4-29-15-39-2.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/U61NiRBgjtfysfw_2013-4-29-15-39-2.pdf) . Acesso em: 17 nov. 2022.

SOMENSI, J. E. F. **Proposta do uso de um indicador de OEE para auxiliar no planejamento da manutenção de aerogeradores eólicos**. 2022. TCC (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – UFSC, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237322>. Acesso em: 27 nov. 2022.

SOMMER, L. Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? **Journal of Industrial Engineering and Management**, Palo Alto, v. 8, n. 5, p. 1512-1532, set. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1470>. Acesso em: 17 jul. 2021.

SOUSA, A. M. H. **Um estudo sobre o processo de implantação de sistemas ERP na função produção de empresas da construção civil**. 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Administração e Controladoria) – UFC, Ceará, 2014.

SOUSA, F. R. C. *et al.* Computação em nuvem: conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. In: 3th Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão e Piauí ERCEMAPI, 3., 2009. **Anais [...]**. Parnaíba, PI: EDUFPI, set. 2010. p. 150-175. Acesso em: [https://www.researchgate.net/publication/237644729\\_Computacao\\_em\\_Nuvem\\_Conceitos\\_Tecnologias\\_Aplicacoes\\_e\\_Desafios](https://www.researchgate.net/publication/237644729_Computacao_em_Nuvem_Conceitos_Tecnologias_Aplicacoes_e_Desafios). Acesso em: 11 mai. 2024.

TAMMONE, G.; TOMOMITSU, H. T. A. As dificuldades enfrentadas pela PME brasileira frente ao paradigma da indústria 4.0: Um estudo de caso. In: SIMPEP (p. 1-14). Bauru, 16. 2019. **Anais [...]**. Bauru: UNESP, 2019. Disponível em: [https://simpep.feb.unesp.br/abrir\\_arquivo\\_pdf.php?tipo=artigo&evento=14&art=156&cad=12770&opcao=com\\_id](https://simpep.feb.unesp.br/abrir_arquivo_pdf.php?tipo=artigo&evento=14&art=156&cad=12770&opcao=com_id). Acesso em 24 de abr. 2023.

TAO, F.; QI, Q.; LIU, A.; KUSIAK, A. Data-driven smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, Amsterdam, v. 48, part C, p. 157-169, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>. Acesso em: 24 abr. 2023.

TARIQ, A.; KHAN, S. A.; BUT, W. H.; JAVAID, A.; SHEHRYAR, T. An IoT-Enabled Real-Time Dynamic Scheduler for Flexible Job Shop Scheduling (FJSS) in an Industry 4.0-Based Manufacturing Execution System (MES 4.0). **IEEE Access**, Pakistan, v. 12, p. 49653-49666, abr. 2024. Disponível em: [10.1109/ACCESS.2024.3384252](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3384252). Acesso em: 24 mai. 2024.

TEIMOURY, E.; FATHIAN, M.; CHAMBAR, I. Automation of the supply chain performance measurement based on multi-agent system. **International Journal of Agile Systems and Management**, Genebra, v. 6, n. 1, p. 25-42, fev. 2013. Disponível em: 10.1504/IJASM.2013.052225. Acesso em: 24 abr. 2023.

TERRA, J. D. R. **Proposta de uma estrutura de trabalho para mitigar as barreiras na integração do método da manufatura classe mundial com as práticas da Indústria 4.0**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. 18ª ed. São Paulo: Cortez, 2011. ISBN 85-2491-716-1.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 443-466, set./dez 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>. Acesso em: 03 jul. 2023.

UGARTE, B. S.; ARTIBA, A., PELLERIN, R. Manufacturing execution system - A literature review. **Production Planning and Control**, London, v. 20, n. 6, p.525–539, set 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09537280902938613>. Acesso em: 21 abr. 2024;

VARGAS, E. J. de; SELITTO, M. A. Contribuição Manufacturing Execution System Na Execução De Prioridades Competitivas Em Empresas De Manufatura. **Produção Online**, Florianópolis, v. 16, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i3.2161>. Acesso em: 21 abr. 2024;

VIANNA, W. B.; DUTRA, M. L.; FRAZZON, E. M. Big data e gestão da informação: modelagem do contexto decisional apoiado pela sistemografia. **Informação & Informação**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 185-212, jun. 2016. Disponível em: 10.5433/1981-8920.2016v21n1p185. Acesso em: 27 nov. 2022.

WAN, J. *et al.* Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 20, p. 7373-7380, mai. 2016. Disponível em: 10.1109/JSEN.2016.2565621. Acesso em: 24 abr. 2023.

WANG, R. *et al.* A low-latency and interoperable industrial internet of things architecture for manufacturing systems. In: IEEE 18th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (p. 859-864), IEEE, 2020. **Proceedings** [...]. Warwick: University of Warwick, 2020. Disponível em: 10.1109/INDIN45582.2020.9442203. Acesso em: 24 abr. 2023.

WATSON, G. H. The ascent of quality 4.0. **Quality progress**, v. 52, n. 3, p. 24-30, mas. 2019. Disponível em: <https://asq.org/quality-progress/articles/the-ascent-of-quality-40?id=8321f828c7c44634b996b2b1ba25a315>. Acesso em: 24 abr. 2023.