

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE  
MATERIAIS**

**WILLIAM ALVES MAIA**

**MELHORIA DE PROCESSOS LOGÍSTICOS FERROVIÁRIOS: INTEGRAÇÃO E  
AUTOMATIZAÇÃO**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA**

**2021**

**WILLIAM ALVES MAIA**

**MELHORIA DE PROCESSOS LOGÍSTICOS FERROVIÁRIOS: INTEGRAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO**

**Improvement of Railway Logistics Processes: Integration and Automation**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia” do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: engenharia da manufatura.

Orientador(a): Prof. Dr. Milton Borsato.

Coorientador(a): Prof. Dr<sup>a</sup>. Carla Cristina Amódio Estorilio.

**CURITIBA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite que outros façam download dos trabalhos e os compartilhem desde que atribuam crédito aos autores, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais. O link sobre a imagem dá acesso a todos os termos da licença.



WILLIAM ALVES MAIA

**MELHORIA DE PROCESSOS LOGÍSTICOS FERROVIÁRIOS: INTEGRAÇÃO E  
AUTOMATIZAÇÃO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia De Manufatura.

Data de aprovação: 28 de Setembro de 2021

Prof<sup>a</sup>. Carla Cristina Amodio Estorilio, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof<sup>a</sup>. Marcia Ramos May, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Prof<sup>a</sup>. Silvana Pereira Detro, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 28/09/2021

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por cuidar ter cuidado do meu coração diante de diversas perdas de pessoas queridas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A minha família, em especial a minha mãe Maria Rosa Maia que sempre me incentivou a sonhar alto e a lutar para concretizar esses sonhos e ao meu pai (*in memoriam*) Edmar Alves Pereira, que me ensinou a perseverar sempre, independentemente de qualquer situação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Milton Borsato pelo apoio e a minha Co-orientadora Prof. Dra. Carla Cristina Amodio Estorilio por toda paciência, dedicação e direcionamento.

## RESUMO

A melhoria de desempenho dos sistemas de transportes ferroviários de cargas (STFC) vem demandando diversas iniciativas, sendo o foco atual, a transferência da realização das tarefas manuais, para equipamentos e centros de controle, conforme os fundamentos da indústria 4.0, embasados na “automatização” dos processos. Entretanto, as máquinas demandam um sistema perfeito e estável, pois a automatização não corrige erros durante a execução das atividades; ela precisa acontecer previamente, corrigindo inconsistências nos fluxos operativos e ajustando a sua integração para que as metas sejam atingidas. Entretanto, pouco tem se discutido quanto a melhoria previa ao processo de automatização em STFC. Sendo assim, esse projeto apresenta uma proposta de correção e melhoria na integração de um processo logístico ferroviário, incluindo a sua automatização através da implantação de sistemas ciber físicos e internet das coisas. Essa correção, melhoria e modernização se concentra nos principais processos, focando o fluxo de informação dos principais agentes desta estrutura. Para isso, será empregado neste estudo o MMFII (Método de melhoria de fluxo de informação e integração), incluindo, também a ferramenta Bizagi Process Modeler, entrevistas e questionários. O trabalho mostra a aplicação do método em um campo real, detalhando a estratégia de aplicação, a implantação dos recursos propostos e os resultados quantitativos e qualitativos com a melhoria e após a automatização do processo. Após a aplicação, foi possível corrigir o fluxo de informação entre as tarefas executadas no setor de planejamento e operação inseridas no processo de entrega ferroviária de cargas, reduzindo o tempo de entrega de 191,5 horas para 135,5 horas. Além disto, automatizou-se as atividades de recebimento de cargas no terminal de origem e o compartilhamento de informações de estoque, tornando o sistema mais eficiente.

**Palavras-chave:** Sistemas ferroviários. Correção e Melhoria de processo. Integração. Logística 4.0.

## ABSTRACT

The improvement in the performance of rail freight transport systems (STFC) has been demanding several initiatives, with the current focus being the transfer of the performance of manual tasks, to equipment and control centers, according to the fundamentals of industry 4.0, based on "automation" of the processes. However, machines demand a perfect and stable system, as automation does not correct errors during the execution of activities; it needs to happen beforehand, correcting inconsistencies in operational flows and adjusting its integration so that goals are achieved. However, little has been discussed about the improvement prior to the automation process in STFC. Therefore, this project presents a proposal for correction and improvement in the integration of a railway logistics process, including its automation through the implementation of cyber-physical systems and the internet of things. This correction, improvement and modernization focuses on the main processes, focusing on the information flow of the main agents of this structure. For this, the MMFII (Method for improving information flow and integration) will be used in this study, also including the Bizagi Process Modeler tool, interviews and questionnaires. The work shows the application of the method in a real field, detailing the application strategy, the implementation of the proposed resources and the quantitative and qualitative results with the improvement and after the automation of the process. After the application, it was possible to correct the information flow between the tasks performed in the planning and operation sector included in the freight rail delivery process, reducing the delivery time from 191.5 hours to 135.5 hours. In addition, cargo receiving activities at the origin terminal and the sharing of stock information were automated, making the system more efficient

**Keywords:** Rail systems. Correction and Improvement of the process. Integration. Logistics 4.0.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Etapas de desenvolvimento do estudo	19
Figura 2	Estrutura das matrizes de transporte	23
Figura 3	Estrutura das matrizes de transporte	24
Figura 4	Evolução tecnológica do sistema logístico	30
Figura 5	Mapeamento entre os sistemas físicos e cibernéticos	34
Figura 6	Conexões da lot	37
Figura 7	Fluxo de Revisão sistemática da literatura	45
Figura 8	Fontes de análise de um estudo de caso	48
Figura 9	Macro fluxo de desenvolvimento do estudo	55
Figura 10	Representação do processo geral	57
Figura 11	Representação do processo crítico	58
Figura 12	Representação do processo delimitado com a interface com os demais setores	60
Figura 13	Primeiro esboço das interações do processo	62
Figura 14	Representação da delimitação da fase crítica construído a partir das entrevistas	65
Figura 15	Representação do fluxograma geral construído a partir das entrevistas	70
Figura 16	Modelagem das sugestões levantadas na fase anterior	84
Figura 17	Representação utilização do Kanban online como melhoria no fluxo de informação	85
Figura 18	Instalação teste de leitores OCR na portaria da empresa	86
Figura 19	Representação da tela de monitoramento do trizy	87
Figura 20	Estrutura da comunicação dos sensores ultrassônicos	88
Figura 21	Representação do range de alcance do sensor	89

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	KPI's para um processo ou subprocesso ferroviário	44
Quadro 2	KPI's para um processo logístico de transporte de cargas	45
Quadro 3	Indicadores de desempenho para um fluxo de informação	45
Quadro 4	Indicadores de desempenho utilizados no estudo de caso	45
Quadro 5	Matriz de amarração	46
Quadro 6	Símbolos básicos para desenvolvimento da modelagem de processo	52
Quadro 7	Macro sequências para aplicação do método	53
Quadro 8	Primeira fase de perguntas para compreensão da demanda	57
Quadro 9	Terceira fase de perguntas para compreensão do processo no "Terminal de origem"	60
Quadro 10	Indicadores validados na etapa de "análise da demanda"	62
Quadro 11	Terceira fase de perguntas para compreensão do processo	64
Quadro 12	Terceira fase de perguntas para compreensão da fase crítica	67
Quadro 13	Caminho crítico do processo delimitado	72
Quadro 14	Problemas constatados durante o desenvolvimento do estudo	73
Quadro 15	Problemas identificados no processo de entrega e algumas de suas causas	76
Quadro 16	Correlação dos problemas e das sugestões de correção x melhoria x automatização	78
Quadro 17	Validação das sugestões de correção, melhoria e automatização	82
Quadro 18	Sugestões de melhoria pós correção	83
Quadro 19	Comparação dos indicadores iniciais e finais	91



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRALOG	Associação Brasileira de Logística
ACATECH	Academia Nacional Alemã de Ciências e Engenharia
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência nacional de Transportes Terrestres
BPMS	Business Process Management System
BPMN	Business Process Model and Notation
CNT	Confederação Nacional do transporte
CPS	Sistemas Ciber Físicos
DOD	Decisão Orientada por Dados
ERP	Enterprise Resource Planning
IDEFx	Integrated Definition Method
IoT	Internet das Coisas
IIIE	Engenharia de Integração da Informação Industrial
MMFII	Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração
SIG-T	Sistema de informação Geográfica de transporte
STFC	Sistema de Transporte Ferroviário de Cargas
TKU	Toneladas por Quilômetro Útil
TFC	Transporte Ferroviário de Cargas
TMS	Transport Management System
WMS	Warehouse Management System

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	<b>Objetivo Geral</b>	16
1.1.1	Objetivos Específicos	16
1.2	<b>Justificativa</b>	17
1.3	<b>Etapas da Pesquisa</b>	18
1.4	<b>Estrutura do Trabalho</b>	19
2.	<b>ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO DO SISTEMA LOGÍSTICO FERROVIÁRIO</b>	21
2.2	<b>Panorama Ferroviário Brasileiro</b>	22
2.3	<b>Processos Sistêmicos Ferroviários</b>	24
2.4	<b>Integração de Sistemas</b>	25
2.4.1	Fatores que impactam a integração	27
2.5	<b>EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO SISTEMA LOGÍSTICO FERROVIÁRIO</b>	30
2.5.1	A Logística 4.0	32
2.5.2	Sistemas ciber físicos	33
2.5.3	Internet das Coisas (IoT)	36
2.6	<b>Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII)</b>	39
2.7	<b>Levantamento dos Indicadores de Desempenho</b>	43
3.	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b>	46
3.1	<b>Etapas para Desenvolvimento da Pesquisa</b>	46
3.1.1	Revisão sistemática da Literatura	47
3.2	<b>Caracterização da Pesquisa</b>	49
3.3	<b>Etapas para Desenvolvimento do Método Proposto</b>	52
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	55
4.1	<b>Apresentação da Empresa</b>	55
4.2	<b>Análise da Demanda</b>	56
4.2.1	Compreensão da demanda	56
4.2.2	Delimitação do campo de estudo	57
4.3	<b>Análise do Processo de Desenvolvimento</b>	62
4.3.1	Compreensão do processo da fase mais crítica para a empresa	63
4.3.2	Redefinição da(s) fase(s) mais crítica(s), delimitando melhor o foco do estudo	64
4.4	<b>Análise da Situação Delimitada</b>	67
4.4.1	Coletar dados junto ao grupo escolhido	67

4.4.2	Modelar e validar o modelo do processo de trabalho	70
4.4.3	Analisar o modelo	72
4.4.4	Correlação dos problemas e respectivas causas	73
4.4.5	Identificar oportunidades para corrigir e melhorar o desempenho da fase estudada	78
4.4.6	Modelar sugestões para a nova configuração da fase estudada	82
4.4.7	Nova configuração do trabalho	90
5.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	92
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	94
	APÊNDICE A – RESEARCH OPPORTUNITIES IN INDUSTRY 4.0: A SYSTEMATIC REVIEW	100

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade por melhoria nos serviços logísticos ferroviários, aliados com a utilização de tecnologias 4.0, tem se tornando um diferencial para as empresas que buscam se estabilizar no mercado. Neste cenário, aumentar a qualidade dos serviços e modernizar esse sistema de transporte ferroviário se torna um pilar fundamental para as organizações que buscam se destacar no mercado pelo valor gerado ao cliente (SCHROEDER, 2018).

Essa modernização se estabelece sobre os conceitos da logística 4.0, que visa a automatização dos processos (SCHROEDER, 2018), definindo assim novos paradigmas para esse setor da economia. Automatizar significa utilizar a tecnologia da informação para modernizar processos que antes eram feitos manualmente (Moraes, 2018). Logística 4.0 consiste em uma rede integrada da cadeia de suprimentos, conectada através de tecnologias de informação (TI), onde sensores de alta tecnologia e robótica inteligente são usados de maneira direta nas operações (YAVAS E OZKAN-OZEN, 2020).

Yavas e Ozkan-Ozen (2020) classificam a Logística 4.0 em duas abordagens: (1) processual, que significa aumentar a eficiência e o desempenho dos membros da cadeia de suprimentos; (2) técnico, que inclui elementos da Indústria 4.0 como os sistemas ciber físicos (CPS) e Internet das coisas (IoT). Para melhorar a compreensão, Yaacoub et. al (2020) definem CPS como uma rede de interação envolvendo vários sistemas interconectados que podem monitorar e manipular objetos, dados e processos reais de maneira automatizada. O processamento desses dados permite extrair informações que são descritas em formato de algoritmos que interagem diretamente com as atividades e serviços daquele processo. Em paralelo, a IoT, de acordo com Strandhagen et al. (2020), pode ser definida como um elemento de integração que utiliza da conexão em rede para conectar atividades e serviços de maneira inteligente. Nesse contexto, as tecnologias como CPS e IoT são capazes de enfrentar os desafios das cadeias logísticas tradicionais, sincronizando informações de processos físicos e serviços, integrando os agentes em um espaço cibernético computacional.

Porém, toda essa modernização do sistema precisa vir acompanhada de um ciclo de melhoria e integração dos principais processos e fluxos de informação (ESTORILIO, 2003). Para Aqlan; Al-fandi (2018), a melhoria de processos concentra-se em analisar, integrar e melhorar os processos de negócios. Isso inclui melhorar a qualidade dos serviços, integrar as atividades e sustentar as melhorias alcançadas. Em paralelo, Acero et al. (2020) define melhoria dos processos como a identificação de atividades que agregam um alto e baixo valor no processo, de maneira a otimizá-las, monitorando com indicadores-chave de desempenho do processo.

De acordo com Buer et al. (2018), a melhoria de processo pode ser avaliada como um método abrangente e padronizado de soluções com alta geração de valor na organização. Estas melhorias de processo se tornam necessárias para manter e operar uma atividade ou serviço de maneira lucrativa para o sistema logístico. De acordo Bhadani et al. (2020), essas estratégias e modelos de melhoria de processo são importantes para que as organizações possam se manter competitivas e lucrativas, tornando seus processos ágeis. Pérez et al. (2017) destacam a importância desta melhoria nos processos e serviços como atividade fundamental para alcançar a sustentabilidade nas operações e aumentar o nível de controle e automação do processo, mesmo com investimentos limitados.

Costa et al. (2020) destacam que a melhoria de processo agrega um alto valor às atividades e serviços, orientada para o cliente, visando melhorar o desempenho e a qualidade de processos, produtos e serviços, além de reduzir todos os custos envolvidos nas atividades.

De maneira complementar, Costa et al. (2017) defendem a importância da melhoria para controle dos processos da organização, auxiliando o gerenciamento e a valorização máxima das atividades e serviços executados, utilizando o mínimo de recursos possível. Defendendo o mesmo ponto de vista, Barbosa et al. (2017) destacam que esse processo de melhoria se torna fundamental para identificar todas as atividades chaves nos processos, eliminando desperdícios (redução de custos) e otimizando o tempo do serviço.

Assim como a implantação madura de uma metodologia de melhoria de processo pode se tornar fundamental para identificar e ajustar todas as atividades do fluxo operacional, a sua falta poderá desencadear vários desvios diretos para o desenvolvimento das atividades da organização. Bhadani et al. (2020) apontam

consequências como baixa qualidade nas atividades executadas, custos elevados no processo, atrasos e lentidão no atendimento de pedidos.

Nilsson (2006) menciona a dificuldade de controle e coordenação das atividades em sistemas logísticos que não possuem uma filosofia de melhoria de processos implantados. De maneira complementar, Antony (2018) menciona algumas consequências de uma política fraca de melhoria contínua, como: falhas no processo de comunicação; falta de integração entre as equipes; técnicas de correções superficiais; monitoramentos e controles inconsistentes.

Visando reduzir esses desvios, alguns autores propuseram soluções e estratégias para aumentar o grau de integração nos sistemas, avaliando e melhorando os processos dentro das organizações.

Aceró et al. (2020) abordam em seu trabalho a melhoria de processo na logística por meio de uma metodologia enxuta de “Análise do Fluxo de Valor” focada na otimização dos processos. Essa metodologia utiliza como base modelos matemáticos utilizando etapas da metodologia Seis Sigma.

Bhadani et al. (2020) apresentam uma simulação dinâmica no processo como ferramenta de exploração para identificar as oportunidades de melhoria em um ambiente virtual, utilizando como parâmetro os indicadores de desempenho do processo. Esses indicadores são utilizados por operadores e agentes do processo para auxiliar na tomada de decisão.

Pérez et al. (2017) desenvolvem um modelo chamado *cobots*, utilizando pilares da indústria 4.0 e melhoria contínua para padronizar o trabalho e melhorar a integração entre homem e máquina. Esse modelo utiliza características da indústria 4.0 para padronização das atividades.

Estorilio (2003) sugere melhorar um processo fabril, incluindo a correção da integração entre atividades operacionais e fluxo de informação para, posteriormente, automatizá-lo. Para isso, sugere um método de melhoria de processo inspirado em Davenport (1993) e Harrington et al. (1997), denominado “Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII)”, o qual é testado em duas empresas grandes: (Embraer-Br/ Dedicated Micros Inc/Uk). O método é composto por 5 etapas: entender a organização, identificar o processo mais crítico, analisar o processo delimitado, reprojeter o processo e monitorar a melhoria. Desta forma, destaca como

a mais importante, “analisar o processo delimitado”, em função desta estabelecer a qualidade da melhoria. Portanto, sugere detalhar as atividades do processo a um nível operativo para que as falhas de integração se tornem visíveis e possam ser corrigidas. Neste trabalho, o autor sugere uma dinâmica para modelar o processo de forma realista, a qual envolve e retrata todos aqueles que o compõem. Para isso, aplica nessa etapa: a explicitação do processo, a sua modelagem, a análise e o diagnóstico da situação para, então, seguir com as sugestões de melhoria.

Buer et al. (2018) desenvolvem uma metodologia para orientar as melhorias de processos utilizando uma ferramenta para captação de grandes quantidades de dados disponíveis, permitindo o planejamento inteligente e o controle dos processos em redes.

Kandil (2018) aborda algumas práticas enxutas para melhorar o fluxo operacional dentro de terminais intermodais, utilizando o pensamento Lean para identificar e eliminar gargalos operacionais, focando na eliminação do desperdício. Porém, não apresenta um mapeamento do fluxo de informação, visando a correção da integração do sistema.

Santos; Lopes (2018) apresentam um sistema de Decisão Orientada por Dados (DOD) para a gestão da operação ferroviária de maneira integrada. Os autores utilizam dos conceitos de Indústria 4.0, Big Data, IoT – Internet Industrial, Data Science para extração, tratamento e utilização intensiva de dados para tomada de decisão.

Fang et al. (2020) apresentam uma análise de um sistema de indicadores de qualidade de serviço de transporte multimodal envolvendo ferrovias a partir da perspectiva dos clientes e provedores de serviços multimodais. Essa análise é baseada em um método que utiliza entrevistas com profissionais de transporte multimodal, juntamente com 25 indicadores de avaliação da qualidade do serviço de transporte multimodal de contêineres.

Li et al. (2021) propõem uma estrutura de integração de informações em tempo real para o acoplamento multidisciplinar de aeronaves por meio da Engenharia de Integração da Informação Industrial (IIIE). A estrutura proposta pelos autores inclui dois conceitos-chave para a integração da informação: a iteração de estado de campo e a simulação do campo físico baseado em geometria. Ambos os conceitos são calculados por meio de modelagem matemática. No entanto, para melhorar a eficiência da integração da informação, a precisão da modelagem proposta pelos

autores ainda é limitada, visto que não realizam um mapeamento de cada atividade de maneira detalhada entre os agentes.

Nunes (2008) desenvolve uma aplicação do PDCA e DMAIC como um método de melhoria de processo em uma empresa do ramo de logística ferroviária. A autora aborda a utilização das duas metodologias para resolver problemas operacionais em manufatura, desconsiderando o fluxo de informação no processo de melhoria.

Apesar dos imensos esforços empregados pelos autores no desenvolvimento de métodos voltados para a melhoria contínua, observa-se poucos estudos que abordem melhoria, incluindo a correção da integração, considerando o fluxo de informação dos sistemas logísticos ferroviários. Também pouco se encontra sobre a implantação de CPS e IoT em sistemas logísticos ferroviários, cujos recursos possuem grande potencial para aperfeiçoar o fluxo de informação nesse processo operativo.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Esse projeto apresenta uma proposta de correção e melhoria na integração de um processo logístico ferroviário, incluindo a sua automatização através da implantação de sistemas ciber físicos e internet das coisas.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

Para concluir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos serão desenvolvidos:

1. Detalhar o funcionamento do Sistema de Transporte Ferroviário de Cargas (STFC), incluindo o fluxo do processo de informação e seus pontos críticos de integração;
2. Levantar indicadores de desempenho usados para medir a eficiência e a qualidade dos níveis de serviços em STFC;
3. Aplicar um método adequado para melhorar a integração de um processo de STFC crítico, que permita a inclusão de sistemas inteligentes;
4. Avaliar o desempenho e a eficiência do método escolhido em relação ao impacto na integração e automatização do processo de um STFC.



## 1.2 JUSTIFICATIVA

O modal logístico ferroviário está se apresentando cada vez mais competitivo em comparação ao modal rodoviário. Empresas do ramo ferroviário estão desdobrando seus processos e serviços para conseguir atender aos desejos de seus clientes com um alto nível de qualidade. Neste cenário, observa-se que a execução melhorada e integrada de serviços departamentais dentro da organização se torna fundamental para obter vantagem competitiva frente aos concorrentes. Porém, nota-se uma grande carência em desenvolver essa melhoria e integração dentro do sistema logístico ferroviário.

De acordo com Esmaeili et al. (2015), o fator melhoria e integração de processos, quando não é alcançado em sua totalidade, promove problemas como: baixa eficiência nas operações das organizações, aumento de despesas e custos inerentes ao processo e uma queda no nível de atendimento aos clientes, afetando a forma como clientes e fornecedores “enxergam” a empresa perante o mercado. Esmaeili et al. (2015) ainda sugerem de maneira complementar a implantação de ferramentas de avaliação de serviços que auxiliaria as organizações a atender as necessidades dos clientes e, em paralelo, às expectativas do mercado.

De maneira complementar, Pérez et al. (2017) indicam, em um primeiro momento, entender as expectativas e necessidades dos clientes para fornecer serviços de alta qualidade. Essa melhoria de processo e integração dos serviços no transporte ferroviário de carga precisam acontecer de maneira estruturada para que os retrabalhos inerentes às atividades possam ser reduzidos ou eliminados.

Neste contexto, Estorilio (2003) apresenta o MMFII (método de melhoria de fluxo de informação e integração), o qual visa suportar trabalhos de melhoria de processos, com foco na sua correção e integração. O Método foi testado em dois campos industriais distintos: o primeiro em uma indústria de grande porte brasileira, desenvolvedora de aeronaves comerciais, e o segundo em uma indústria inglesa de médio porte, desenvolvedora de câmeras de segurança para ambientes comerciais amplos, como aeroportos e outros.

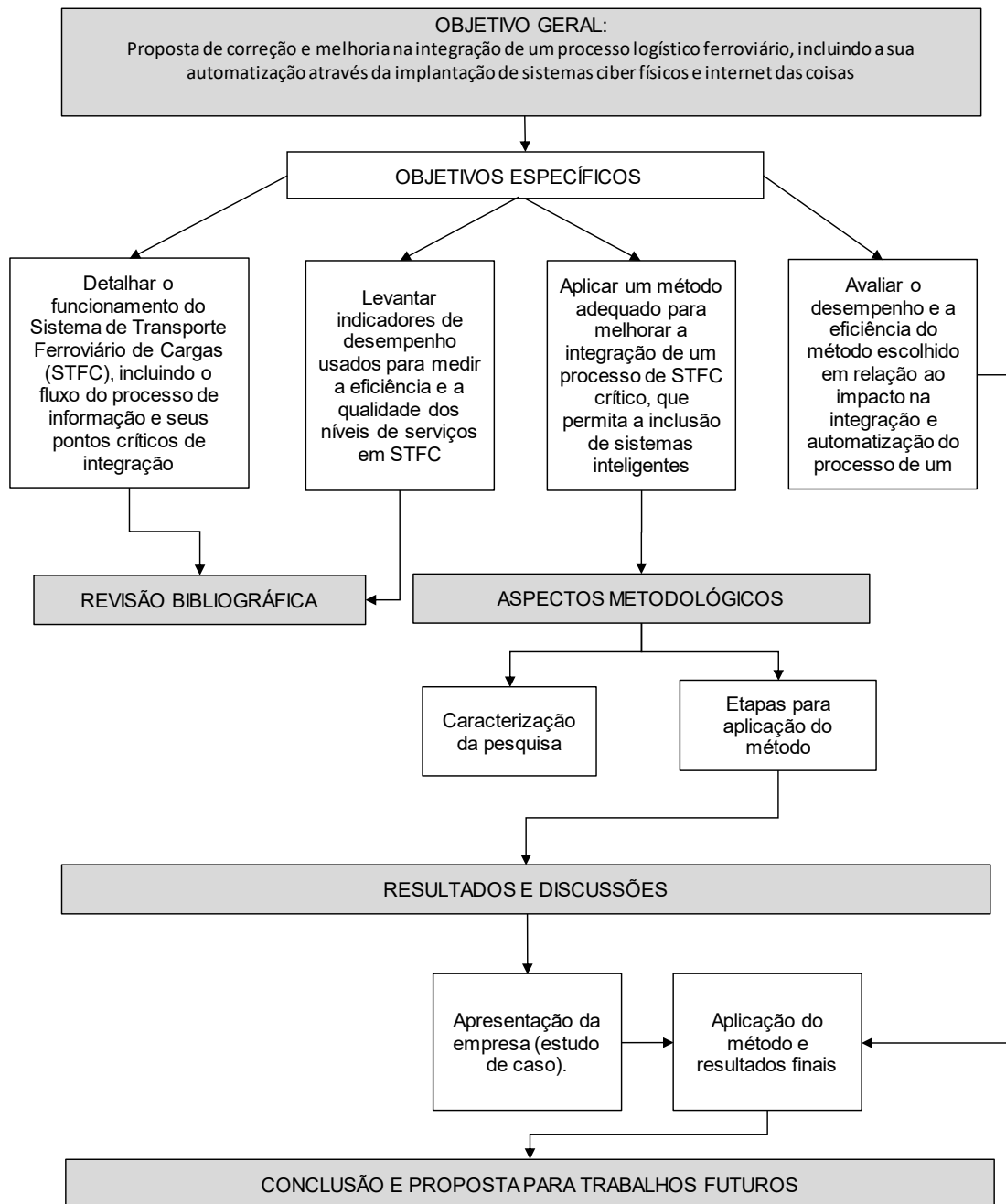
Como diferencial para desenvolvimento deste trabalho, apresenta-se a aplicação do método em um campo diferente do apresentado pela autora, além de utilizá-lo como estrutura para a implantação de dois pilares da logística 4.0: CPS e lot.

Através desta problemática levantada, o presente trabalho contribuirá com um método que poderá ser utilizado para corrigir, integrar e melhorar desempenho de processos logísticos de sistemas ferroviários e modernizar seus serviços. Espera-se que o método contribua para tornar os processos e serviços internos mais enxutos, explicitando os problemas e desperdícios existentes, permitindo a sua eliminação. Em um segundo momento, deverá conduzir a empresa a um processo de integração e melhoria de eficiência de todo o sistema operativo.

### 1.3 ETAPAS DA PESQUISA

Para que o escopo geral da pesquisa seja entendido de maneira clara, a Figura 1 apresenta um fluxograma da estrutura do trabalho, incluindo as etapas desenvolvidas na pesquisa.

**Figura 1 – Etapas de desenvolvimento do estudo**



Fonte: Autoria própria (2021)

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Neste contexto, estrutura-se a pesquisa em 5 capítulos, iniciando pelo capítulo 1 que apresenta uma breve introdução sobre o trabalho, objetivos gerais e específicos e a justificativa do projeto.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica contendo o funcionamento de um sistema de transporte ferroviário de cargas (STFC), os pontos

críticos envolvidos neste sistema. Apresenta-se também a conceituação da modernização do processo por meio de tecnologias 4.0.

O capítulo 3 expõe a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, o detalhamento das atividades realizadas e as diretrizes utilizadas no estudo.

O capítulo 4 apresenta a aplicação de um método de melhoria em um STFC, o qual inclui a inclusão de sistemas que visam automatizar o processo. Após isso, o capítulo mostra os ganhos quantitativos e qualitativos com essa aplicação em campo.

O capítulo 5 apresenta as considerações finais, onde o estudo é sintetizado, destacando também oportunidades de pesquisa para trabalhos futuros.

## **2. ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO DO SISTEMA LOGÍSTICO FERROVIÁRIO**

Neste capítulo será apresentado um referencial teórico sobre as definições do sistema logístico de transporte ferroviário de cargas, buscando entender o funcionamento do sistema de transporte ferroviário de cargas, o panorama do cenário brasileiro, os pontos de integração e o processo de evolução nos últimos anos. Por fim, será apresentada algumas ferramentas e métodos utilizados para melhorar, integrar e modernizar esse sistema.

### **2.1 SISTEMA LOGÍSTICO FERROVIÁRIO**

O transporte ferroviário é um importante sistema logístico que sustenta e interliga uma grande parcela da economia regional e global. Esse sistema logístico, de acordo com Pérez et al. (2017), assume um papel importante na economia nacional. Sua tarefa é realizar o transporte de mercadorias e bens de valor, utilizando de maneira eficiente toda a capacidade logística disponível para conseguir atender todas as demandas dos clientes.

De acordo com Carboni; Deflorio (2020), esse sistema ferroviário contribui para a competitividade do transporte intermodal e desempenha um papel importante na cadeia de transporte. Por isso, a utilização deste modal se torna essencial para a confiabilidade e robustez de todo o sistema de transporte logístico.

Para Betarelli et al. (2020), as ferrovias se caracterizam como um importante corredor logístico que atravessa várias regiões e estados, interligando os principais portos, visando à exportação de diversas cargas. Dessa forma, o sistema de transporte ferroviário de cargas se apresenta de maneira estratégica para a política comercial brasileira, de maneira a reduzir os custos do frete na tabela comercial.

Analisando o aspecto ambiental, esse sistema logístico é um dos meios mais eficientes e ecológicos para transporte e movimentação de cargas e desempenha um papel importantíssimo na logística mundial (Esmaeili et al. 2015). Para Kumar; Anbanandam (2020), as operações ferroviárias são 77,4% menos poluentes e consomem 43,4% menos combustível do que o modal rodoviário. Os autores também

complementam que as operações intermodais ferroviárias podem ser uma estratégia viável para a mitigação das mudanças climáticas. De acordo com a CNT (Confederação Nacional do Transporte), o transporte ferroviário também se destaca pela segurança, que se apresenta superior ao modal rodoviário, além de ter um baixo custo de manutenção.

Quando o foco é volume de transporte, esse sistema logístico se destaca principalmente por sua capacidade de transportar grandes quantidades de cargas com elevado nível de eficiência energética, se tornando mais competitivo nos deslocamentos de médias e grandes distâncias.

Abordando o panorama Brasileiro, de acordo com Antonio et al. (2020), ocorreram vários investimentos neste modal no final da década de 1990, com o objetivo de elevar a capacidade de transporte de volume deste sistema logístico, favorecendo o sistema de distribuição de produtos finais e as cadeias produtivas no país. Para a ANTF (Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários), grande parte deste aumento de investimento está concentrada nas regiões sul, sudeste e centro oeste.

## 2.2 PANORAMA FERROVIÁRIO BRASILEIRO

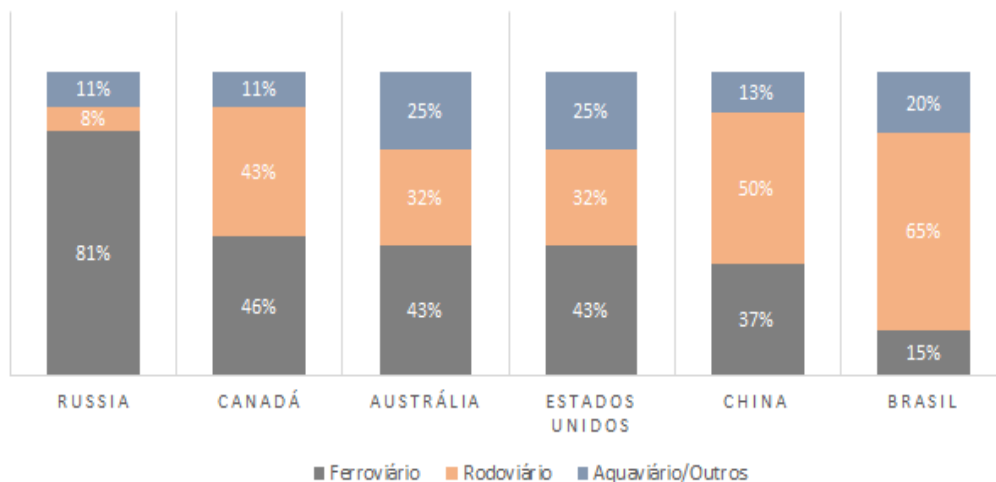
De acordo com os dados da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), ocorreram nas duas últimas décadas um aumento considerável no volume de produtos transportados através das ferrovias no Brasil, visto esforços que foram feitos de maneira significativa para melhorar a integração das matrizes marítimas, rodoviárias e ferroviárias. Neste contexto, o sistema ferroviário brasileiro tem se destacado ao longo dos anos como principal estratégia para o desenvolvimento econômico do país pelo fato de possibilitar o transporte de grande quantidade de produtos.

Quantificando o investimento financeiro para esse aumento de capacidade, de acordo com a ANTF, de 1996 a 2018 investiu-se mais de R\$ 107 bilhões destinados prioritariamente a reestruturação da malha, aumento da capacidade de transporte de volume, além da compra de novas tecnologias. Quanto aos ativos, em 1997 as ferrovias brasileiras contabilizavam 1.154 locomotivas rodantes na malha. Em 2018, esse número aumentou para 3.515 unidades, um aumento de 205% em comparação

a 1997. Analisando o mesmo período, porém abordando o número de vagões, o sistema passou de 43.816 vagões em 1997, para 113.680 vagões em 2018, uma alta de 159%.

De 1996 a 2018, as ferrovias brasileiras conquistaram a participação na matriz de transporte equivalente a 15% de “*share*” logístico (figura 2). Quanto às perspectivas futuras, segundo projeção da ABRALOG (Associação Brasileira de Logística), o sistema brasileiro poderá dobrar de tamanho até 2025, passando dos atuais 15% de participação na malha de transporte do país, para 30%.

**Figura 2 - Estrutura das matrizes de transporte**



**Fonte: Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (2018)**

Observa-se na figura 2 que o Brasil ainda apresenta baixa representatividade do sistema ferroviário na matriz de transporte logística (15%), se comparado a países com dimensões continentais semelhantes como Rússia, Canadá, Austrália, Estados Unidos e China. Essa baixa representatividade do Brasil está relacionada diretamente à infraestrutura do sistema de transporte logístico (ANTT, 2021).

Amirov et al. (2021) destacam a importância da expansão da infraestrutura deste sistema de transporte ferroviário de maneira estruturada para o crescimento do *share* logístico, além da necessidade do desenvolvimento qualitativo e integrado de processos do STFC para que essa expansão ocorra de maneira eficaz. Neste cenário, alguns autores apresentam algumas definições e pontos críticos que afetam o desenvolvimento do sistema de transporte ferroviário. Porém, para discutir essas

questões, primeiro é preciso compreender a dinâmica de funcionamento desse sistema

### 2.3 PROCESSOS SISTÊMICOS FERROVIÁRIOS

Para entender os mecanismos de desenvolvimento, melhoria e integração do STFC, Asadi (2011) apresenta uma pirâmide com os níveis estruturais para mostrar desde o fluxo organizacional, até o operacional dos sistemas ferroviários (Ver Figura 3).

**Figura 3 - Estrutura das matrizes de transporte**



**Fonte: Asadi (2011)**

Para Asadi (2011), o principal objetivo desta pirâmide é apresentar de maneira macro o fluxo sistêmico organizacional dentro de uma empresa para a tomada de decisões, que iniciam no nível estratégico com decisões da presidência e vão até o operacional, desdobrando de uma maneira descentralizada a política e o plano operacional da organização. Para Ante et al. (2018), a pirâmide de desempenho tem como objetivo integrar a visão hierárquica com a medição do desempenho do negócio. O topo da pirâmide é composto por uma visão corporativa (nível estratégico) que depende de objetivos do mercado e financeiro. O nível intermediário (nível tático) tem como foco alcançar e manter a alta produtividade e qualidade, com resposta rápida, alta flexibilidade e prazos de entrega curtos. Nos últimos níveis (nível operacional/transacional) estão as “operações” caracterizadas principalmente pela



execução dos planejamentos elaborados nos níveis estratégicos e táticos. A pirâmide aponta para uma gama de metas relacionadas à eficácia externa e à eficiência interna da organização.

Mais tarde, Carboni; Deflorio (2020) unificam esses quatro níveis organizacionais (estratégico, tático, operacional e transação) em duas grandes áreas: planejamento operacional, que consiste no planejamento interno das demandas e das operações e, por fim, o transporte ferroviário, que consiste basicamente na execução das atividades elaboradas no gerenciamento estratégico. Para o autor, a área de planejamento operacional ferroviário tem o objetivo de validar o aceite de demandas recebidas via clientes, organizando uma estrutura interna para que seja possível operacionalizar esse transporte.

Asadi (2011) destaca o fluxo de informações como fase crítica desta área de planejamento operacional logístico. De acordo com o autor, essas informações podem ser representadas em diferentes formatos como: oral, textual ou sistêmica. Carboni; Deflorio (2020) citam a criticidade deste fluxo de informações nesta fase de planejamento operacional pelo fato de depender de vários níveis estruturais na pirâmide organizacional.

Neste cenário, torna-se essencial a necessidade de integração do fluxo de informações entre os agentes desta estrutura organizacional para as empresas que buscam eficiência e qualidade na entrega e prestação dos seus serviços.

## 2.4 INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS

Empresas orientadas a prestação de serviços de transporte estão continuamente buscando integrar seus processos, atividades e fluxos informacionais, visando tornarem-se mais competitivas (Berente et al. 2009). Para compreender a dinâmica da integração, alguns autores apresentam definições, discutem sua importância e analisam sua criticidade.

Olesen et al. (2018) definem integração de sistemas ferroviários como uma sequência de processos que devem ser conectados e coordenados de modo a alcançar um fluxo sincronizado de serviços. Amirov et al. (2021) mencionam que a integração em um sistema de transporte logístico pode ser definida como um conjunto

de conexões entre diversas áreas e agentes do processo, baseadas em princípios de eficiência, otimização, complexidade e flexibilidade.

Em paralelo, Silva; Kawakame (2019) definem integração de sistemas na logística como um processo que conecta todas as atividades e áreas da empresa, estruturando a sequência e o fluxo de produtos desde a entrada da matéria-prima até o consumidor final, promovendo níveis de serviços que superem as necessidades dos clientes, com o menor custo possível. Os autores ainda mencionam que manter a qualidade do fluxo de informações se torna fator determinante para o sucesso nas operações logísticas.

Para Hartmann et al. (2018), a integração de sistemas pode ser definida como o ato de conectar fluxos de informações, reduzir os prazos de entrega e melhorar a flexibilidade ou produtividade em ambientes complexos, oferecendo uma integração interpessoal no processo.

Neste contexto, Jin et al. (2013) apontam a integração interpessoal como um fator crítico do processo de melhoria. Estorilio (2003) também destaca o envolvimento interpessoal e interfuncional como etapa crítica no processo de integração, considerando que esses dois fatores são peças-chaves e contribuem para estabelecer um canal de comunicação efetivo, aumentando as interações entre todos os agentes envolvidos no processo.

Berente et al. (2009) defendem que a integração de sistemas pode assumir várias definições como: integração de processos, integração de negócios e integração de fluxos de informação. No entanto, para os autores, o conceito final acaba se tornando o mesmo, visto que o sistema se define por uma entrada, um processamento e uma saída, que pode ser um processo, serviço ou informação, ocorrendo de maneira integrada aos vários agentes envolvidos no negócio.

Estefania et al. (2018) classifica a integração sistêmica em três grandes áreas: Integração técnica, Integração de Negócios e Integração Sócio-organizacional. Os autores definem a integração técnica como a capacidade em desenvolver aplicativos ou sistemas para a troca de dados. Ao se referir à integração de negócios, os autores apontam a importância da automatização de um processo de negócio para aumentar a confiabilidade das informações. Por fim, os autores apresentam a integração sócio-

organizacional para facilitar as interações entre as partes interessadas de diferentes unidades organizacionais.

Ganbold et al. (2021), de maneira complementar, classifica a integração em duas grandes áreas: integração externa e integração interna. A integração externa é definida como o grau em que uma organização pode se conectar com seus principais parceiros da cadeia de suprimentos (fornecedores e clientes) para otimizar suas estratégias, processos e práticas Inter organizacionais. Já a integração interna é definida como o grau em que uma empresa estrutura suas próprias estratégias organizacionais, práticas e operações em processos colaborativos e sincronizados, com o objetivo de atender seus clientes.

Para mostrar a importância do fator integração no ciclo de melhoria, Harrington, Esseling e Nimwegen (1997) citam algumas consequências geradas pela inexistência desta conexão no desenvolvimento dos processos e atividades. As principais são: a) o acúmulo de procedimentos e de operações de processamento de dados; b) as duplicidades de documentos semelhantes em diferentes setores da empresa; c) o recebimento de informações em excesso por parte de alguns funcionários; d) o não recebimento de informações por parte de alguns funcionários; e) a verificação de informações acumuladas, mesmo após não serem mais úteis para o trabalho desenvolvido no presente período; d) o excesso de interações ou falta de interações durante o trabalho.

Para Paoli et al. (2014), as falhas mais evidentes desta falta de integração organizacional são: geração de informações e documentos excessivos e desnecessários, alto tempo de resposta para a execução de atividades e serviços, retrabalhos e a consequente ineficiência na utilização de recursos.

#### 2.4.1 Fatores que impactam a integração

Herbst (1974) apresentou alguns fatores críticos no processo de integração em uma estrutura de trabalho. Para o autor, é de suma importância identificar: 1) a dependência dos objetivos da atividade/serviço; 2) a diferenciação dos papéis; 3) a dependência entre as tarefas; 4) a relação entre as atividades.

Berente et al. (2009) classificam quatro etapas críticas para um processo de integração eficaz na estrutura organizacional:

- a) Acessibilidade: as informações precisam estar prontamente disponíveis para a execução da atividade;
- b) Oportunidade: as informações precisam estar disponíveis quando necessário;
- c) Transparência: as informações precisam estar claras e compreensíveis;
- d) Granularidade: as informações precisam estar no nível certo de detalhe.

Fraile Sordi et al. (2017) apontam alguns fatores organizacionais que impactam negativamente no processo cooperativo e nas integrações de atividades e serviços internos e externos das organizações. As principais são: a) hierarquia excessiva, com ênfase excessiva em normas e regras, b) rotatividade, c) falta de tempo, d) falta de engajamento/envolvimento, e) sobrecarga de informações, f) distância espacial.

Neste mesmo contexto, Mustafa et al. (2020) relacionam algumas falhas críticas que influenciam diretamente o processo de integração das atividades e serviços entre os agentes de uma organização, destacando três:

- a) Falha de Informação; A baixa qualidade da informação reduz a fluidez e confiabilidade do sistema e induz o usuário a tomada de decisão de maneira imprecisa no ambiente organizacional;
- b) Falha funcional; atraso na execução da sequência do serviço prestados entre os agentes, atrasando a entrega final da atividade ou pedido;
- c) Falha de serviços; baixa qualidade no serviço executado pelos envolvidos, gerando retrabalhos e reprocessamento de informações. De acordo com o autor, a falha de serviço tem um impacto negativo direto sobre os processos, custo e satisfação do cliente.

Apesar da importância em conhecer os pontos críticos para a correção e implantação de melhorias dos serviços, existem barreiras que tendem a prejudicar a eliminação destes desvios. Para Kheybari et al. (2020), a resistência dos usuários à mudança torna o processo de integração mais complexo. A falta de conscientização dos usuários sobre os benefícios da integração das atividades, o não envolvimento dos usuários nesta fase de melhoria e a falta de conhecimento do processo de maneira geral torna o ciclo de melhoria menos efetivo.

Para resolver esta falha, vários autores propõem alternativas para promover a integração nos processos operativos. Fraile Sordi et al. (2017) apresentam uma sequência de atividades para que a organização possa viabilizar e intensificar a

criação de conhecimento na integração dos processos e serviços. Essas sequências consistem em: a) oferecer uma estrutura de trabalho que alimente seus funcionários com o conhecimento necessário, b) qualificar a base de conhecimento da empresa; e c) criar uma cultura cooperativa que impulsione o trabalho em equipe e ofereça as oportunidades para que os agentes troquem e disseminem conhecimentos.

Kheybari et al. (2020) apresentam uma estrutura hierárquica de critérios para revelar o desajuste de sistemas de informação e melhorá-los, para mensurar os desvios de maior impacto sobre os sistemas de informação das organizações. Essa estrutura é desenvolvida entre as áreas de gerenciamento de projetos, gerenciamento organizacional, humano, organizacional e técnico. De acordo com os autores, essa estrutura funciona por meio de coleta de opiniões entre especialistas, por meio de um questionário online. Essa coleta de informações tem foco em revelar alguns desajustes do sistema de informação, o qual tem maior impacto sobre a falha dos sistemas.

Alguns autores sugerem a inserção de recursos tecnológicos para promover a integração. Nabavi (2019) apresenta um modelo formado por uma estrutura híbrida estruturada por um algoritmo para processamento de grande volume de dados em lote e em tempo real, otimizando o processo de integração das atividades e serviços. Ngai et al. (2008) propõem um modelo para a adoção de um sistema integrado que examina as relações entre o contexto organizacional e as barreiras entre os usuários externos, para dar suporte às operações logísticas. Especificamente, este modelo apresenta as percepções e barreiras das operações de uma empresa quanto a gestão da integração e informação.

Rodríguez et al. (2020) apresentam uma pesquisa descrevendo as características do ERP (Enterprise Resource Planning ou sistema de gestão integrado) quanto à avaliação da integração e complexidade organizacional. Os autores apresentam implicações importantes para pesquisadores e gestores na otimização da implantação do ERP de forma a obter um maior retorno no processo de integração e melhoria.

A fim de aumentar a velocidade dos fluxos de informação do processo, Moeuf et al. (2017) apontam a utilização da inteligência artificial para conectar o planejamento empresarial e sistemas de controle (ERP). A integração dessas

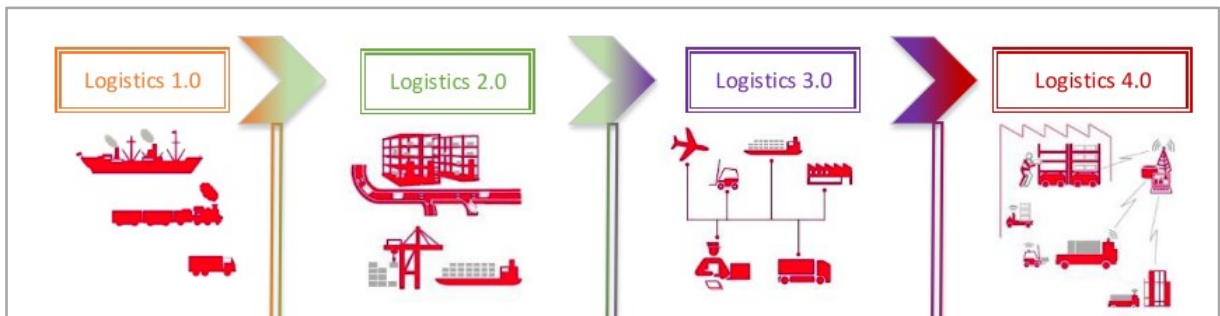
tecnologias 4.0 evoluíram com o tempo, otimizando o processo operacional e aumentando a eficiência deste STFC.

A evolução tecnológica neste STFC, de acordo com Golpîra et al. (2021), pode ser considerada como fator chave para o crescimento da competitividade e o aumento da conectividade dos serviços, visto que os processos passam a operar de maneira mais ágil, otimizando a troca de informações.

## 2.5 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DO SISTEMA LOGÍSTICO FERROVIÁRIO

Para entender essa evolução, é importante compreender como foi o início desse sistema e como ocorreu essa evolução ao longo dos anos. De acordo com Galindo (2016), o sistema logístico de transporte ferroviário experimentou uma grande evolução, que pode ser dividida em quatro períodos principais: logística 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0, de acordo com a figura 4:

**Figura 4 – Evolução tecnológica do sistema logístico**



**Fonte: Galindo (2016)**

Para Galindo (2016), a logística 1.0 foi a mudança do trabalho manual para a produção de máquinas, que teve início no Reino Unido, em 1784, e se espalhou para a Europa Ocidental e América do Norte após algumas décadas. A partir desse momento, ocorreram várias transformações no setor logístico, evoluindo do trabalho com ferramentas manuais e força animal, para o trabalho com máquinas de manufatura industrial e transporte de mercadorias e pessoas. Esta fase se destacou pelo desenvolvimento de navios e sistemas ferroviários, gerando um aumento significativo na capacidade de transporte. Para Cimini et al. (2019), esse foi um período em que a malha ferroviária iniciava os primeiros passos rumo ao desenvolvimento.

A segunda fase, denominada “logística 2.0”, iniciou em 1870, caracterizando-se pelas mudanças em relação ao desenvolvimento tecnológico (Galindo, 2016), onde destacaram-se os processos de automação das movimentações de cargas. Iniciaram-se os primeiros estudos para o funcionamento do sistema de transporte ferroviário por meio de energia elétrica. Para Cimini et al. (2019), diferentes linguagens de programação foram desenvolvidas para aplicações científicas e de engenharia, visando auxiliar nesse desenvolvimento tecnológico.

A terceira fase, denominada, “logística 3.0”, iniciou em 1969, caracterizando-se por dois avanços tecnológicos: o funcionamento de máquinas por controle numérico, proporcionando a flexibilidade para uma produção em série, e as máquinas utilizando computadores com memória embutida. Foi neste período em que ocorreram vários aprimoramentos dos computadores conectados nas automações, tornando mais lucrativa a utilização de robôs na manufatura. Desenvolveu-se também o “sistema de gestão logística”, com diversos softwares conhecidos como WMS (*Warehouse Management System*) e o TMS (*Transport Management System*), impulsionados pelo avanço significativo de computadores para gerenciar e controlar esse sistema logístico (GALINDO, 2016).

A atual fase, denominada “logística 4.0”, iniciou em 2011 como uma extensão da indústria 4.0, se caracterizando pela criação de tecnologias na área logística que utilizam inteligência artificial. Nesse contexto, surgiram diversas interações tecnológicas modularizadas, autônomas e inteligentes. Esta nova mudança de paradigma na manufatura é o resultado do uso da Internet que permite a comunicação entre máquinas e humanos em tempo real e o uso do que é conhecido como “produtos e serviços inteligentes”, bem como a digitalização avançada dentro dos processos logísticos.

Esta logística inteligente permite automatizar todos os elementos envolvidos nos processos de transporte e possibilita a aplicação de conceitos como adaptabilidade, interconectividade, eficiência e ergonomia (Galindo, 2016). Esta última fase (logística 4.0) tem se destacado pelo nível de modularização do sistema logístico e pela adoção de novas tecnologias que estão contribuindo para diferenciar e agilizar os serviços de transportes do sistema ferroviário, auxiliando no aumento da competitividade.

Além disto, a logística 4.0 contribui diretamente para auxiliar tecnologicamente esse sistema logístico, acelerando decisões de curto, médio e longo prazo, e automatizando, em paralelo, todo o sistema de informação (Golpîra et al. 2021). Nota-se, porém, que o uso destas tecnologias só geram valor para o processo quando desenvolvidas após uma etapa de análise e correção do desempenho operacional do sistema, visto que possuem características de automatizar e agilizar o fluxo de informações e não de corrigi-las (RIBEIRO-NAVARRETE ET AL., 2021).

Beham et al. (2020) complementam que as novas tecnologias 4.0 estruturam as etapas de modernização dos processos, necessitando, porém, do desenvolvimento de mecanismos complementares de tratativa de desvios para potencializar significativamente essa sistematização da logística tradicional para a logística 4.0.

Levando em consideração essa sistematização e a modernização da logística tradicional, alguns autores apresentam definições sobre o termo logística 4.0, seu funcionamento e o foco da sua utilização.

### 2.5.1 A Logística 4.0

O conceito de tecnologia 4.0, de acordo com Yavas; Ozkan-Ozen (2020b), nasceu na Alemanha em 2011 com o objetivo de utilizar de maneira eficiente a tecnologia, se integrando de maneira inteligente aos processos operativos.

Torbacki; Kijewska (2019a) definem logística 4.0 como uma nova abordagem de processos da logística tradicional. Segundo os autores, essa abordagem se caracteriza pelo uso extensivo da internet das coisas, transparência / visibilidade constante de uma cadeia de suprimentos completa para todos os participantes do processo, uma possibilidade de otimização dinâmica de cadeias de suprimentos e fornecedores.

De maneira complementar, Sukma et al. (2018) apresentam a Logística 4.0 como uma abordagem baseada em aspectos e conceitos da Indústria 4.0, desenvolvendo um sistema de logística inteligente para atender as necessidades dos clientes em um mercado conectado e digitalizado. Strandhagen et al. (2017) definem logística 4.0 como uma extensão mais ampla da Indústria 4.0, incluindo cinco áreas



funcionais válidas: coleta e processamento de dados, sistemas de assistência, rede e integração, descentralização e orientação de serviço e auto-organização.

A logística 4.0 também engloba o aspecto de processo e o aspecto tecnológico (suporte à logística por meio de soluções de tecnologia de informação de última geração). Essa abordagem tecnológica visa aumentar a eficácia e eficiência dos serviços logísticos, tendo em vista o desenvolvimento do conceito de Indústria 4.0 (CIMINI ET AL. 2019).

Neste contexto, Pinto et al. (2017) mencionam que o principal objetivo da logística 4.0 é fomentar o networking inteligente de produtos e processos ao longo da cadeia de valor, permitindo uma utilização mais eficiente dos processos organizacionais, na criação de bens e serviços que potencializam o benefício do cliente, oferecendo-lhes novos produtos e serviços.

Em paralelo, Schlott (2017) menciona que o objetivo da logística 4.0 é desenvolver processos totalmente autônomos, com alto nível de mobilidade, modularidade, compatibilidade e comunicação em instalações logísticas. Esse sistema automatizado ainda pode se dividir em níveis de baixo desempenho e alto desempenho. Os níveis de baixo desempenho se caracterizam por apresentarem processos totalmente manuais. Em paralelo, os níveis de alto desempenho se destacam por oferecerem processos totalmente automatizados e integrados (PRENSA; 2019).

Segundo Cimini et al. (2019), visando implantar esses conceitos da logística 4.0 e promover um fluxo de comunicação ágil, muitas organizações estão iniciando um processo de desenvolvimento de tecnologias de compartilhamento e integração de dados de maneira automatizada. Dentro do escopo de desenvolvimento deste sistema de inteligência artificial, destacam-se os sistemas ciber físicos e a internet das coisas, dado características de auxiliar essa transmissão e a conexão de dados dentro e fora da organização.

### 2.5.2 Sistemas ciber físicos

Matana et al. (2020) definem sistema ciber físicos (CPS) como uma tecnologia capaz de integrar em um nível sistêmico os processos físicos com os sistemas computacionais. Os computadores são incorporados às redes de comunicação que

monitoram (de físico para o virtual) e controlam (do virtual para o físico) os processos operacionais, onde os elementos (físicos e computacionais) interagem de maneira completa.

Em paralelo, Estorilio et al. (2019) definem os sistemas ciber físicos como sistemas físicos, cujas operações podem ser monitoradas, coordenadas, controladas e integradas por um sistema de computação e comunicação. Para os autores, o CPS envolve a interação com o mundo físico e é composto por um conjunto de agentes em rede. Esses agentes de rede incluem: sensores, atuadores, unidades de processamento de controle e dispositivos de comunicação.

Tao et al. (2019) mencionam que o CPS possui como característica a integração tecnológica capaz de interligar sistemas multidimensionais e complexos do cenário cibernético ao mundo físico, por meio da computação.

Esses elementos cibernéticos referem-se a dispositivos de computação que processam informações e se comunicam entre si. Segundo Matana et al. (2020), as interfaces de comunicação são as redes de dados e os *softwares* que integram os processos físicos com os cibernéticos, permitindo o monitoramento e controle (sensores e atuadores), de acordo com a figura 5.

**Figura 5 - Mapeamento entre os sistemas físicos e cibernéticos**



**Fonte: adaptado de Tao et al. (2019)**

A academia Nacional Alemã de Ciências e Engenharia (ACATECH) estabelece cinco características do CPS:

- a) Integração do físico e virtual: integração por meio da automação inteligente e com controle de componentes e sistemas em tempo real;
- b) Sistemas com limites adaptáveis dinamicamente: serviços e componentes integrados dinamicamente, permitindo dispositivos e sistemas multifuncionais, cooperando com outros sistemas, subsistemas ou serviços;
- c) Sistemas adaptativos ou semi autônomos: adaptam-se às mudanças no ambiente e aos requisitos de aplicação que permitem o funcionamento total ou semi autônomo, detectando as condições relevantes de seu emprego;
- d) Sistemas cooperativos com controle distribuído e mutável: comportamento confiável do sistema pela interação coordenada de múltiplos agentes plenos ou semi autônomos, abrangendo o controle interativo de máquinas, homens, sistemas e serviços;
- e) Extensa cooperação humano-sistema: detectar e interpretar usuários, incluindo condições físicas e emocionais, definindo o comportamento humano como uma condição do sistema e / ou estabelecendo ações homem-máquina interativas.

Apesar de sua importância e benefícios esperados, a aplicação do CPS em diversas áreas da logística ainda está em processo de desenvolvimento, com poucos estudos apresentando essas aplicações, principalmente em sistemas ferroviários (Schmidtke et al., 2018). Apesar disso Silva; Kawakame (2019) apresentam uma visão otimista, indicando uma perspectiva de crescimento da utilização e desenvolvimento dos CPS para os próximos anos no sistema ferroviário de cargas, visto que a utilização da tecnologia no setor ainda precisa passar por um processo de amadurecimento para a sua aplicação.

Do ponto de vista da estrutura organizacional, de acordo com Bennis et al. (2018), os sistemas ciber físicos ainda necessitam do auxílio de métodos de correção e melhoria específicos para potencializar o processo de integração sistêmica e o fluxo de informação das empresas. Neste contexto o CPS só ganha efetividade em sua implantação quando a atividade, serviço ou processo está totalmente corrigido (Kheybari et al. 2020). De maneira complementar, Silva; Kawakame (2019) destacam

a necessidade de uma padronização dos processos logísticos para auxiliar o desenvolvimento do CPS e IoT (Internet das coisas) nas organizações.

Neste cenário, de acordo com Golpîra et al. (2021), o CPS, integrado com a IoT, possui grande compatibilidade para ser aplicado de maneira conjunta, visto a característica das tecnologias em se conectar, localizar, rastrear e monitorar objetos como: dispositivos móveis, eletrodomésticos, veículos inteligentes, drones, máquinas industriais, entre outras, por meio de um sistema em rede, autoconfigurado e dinâmico. Neste contexto, a utilização da IoT paralela com o CPS poderá fortalecer o processo de comunicação dos sistemas, visto que ambos utilizam a mesma lógica de interação em redes.

### 2.5.3 Internet das Coisas (IoT)

Para Hofmann; Rûsch (2017), a internet das coisas pode ser definida com um sistema capaz de conectar os dispositivos físicos à Internet, de modo a garantir a transmissão de um grande volume de dados através da rede. Ela pode ser baseada em uma estrutura em que os serviços são facilmente disponibilizados por meio de tecnologias web, permitindo que empresas e usuários possam combinar, criar e oferecer um novo tipo de serviço com alto valor agregado.

Schroeder (2018) destaca a IoT como estrutura de integração de sensores e atuadores por meio dos seus componentes “inteligentes” para alcançarem os objetivos pré-estabelecidos do processo. A autora ainda classifica a IoT em três visões: a) a visão orientada às coisas, buscando demonstrar propostas que assegurem o melhor aproveitamento dos recursos dos dispositivos; b) a visão semântica, que foca no armazenamento e na organização da informação gerada, procurando soluções para a modelagem das descrições que permitam um tratamento adequado para os dados produzidos pelos objetos; c) a visão orientada à internet, buscando estabelecer modelos e técnicas destinadas a interoperabilidade dos dispositivos em rede, de acordo com a figura 6.

**Figura 6 – Conexões da IoT**



**Fonte: Atzori; Iera; Morabito (2010)**

Torbacki; Kijewska (2019b) destacam a importância da IoT para aumentar a capacidade de troca e coleta de dados, por meio de conexão com a Internet. Esse intercâmbio de dados, aliado com uma etapa de correção do fluxo da informação, possui alto potencial de aumentar a qualidade dos serviços; em um primeiro momento o processo é corrigido e integrado e, em um segundo momento, modularizado e automatizado.

Neste contexto, Muñuzuri et al. (2020) defendem que a automação e o processamento de dados desenvolvidos pelos sistemas IoT devem ser uma etapa secundária de implantação no processo, precedida por ciclos de correções e integrações neste sistema de transporte. Essa primeira etapa de correção se torna essencial, visto a capacidade de promover uma análise detalhada do processo por completo, visando ajustar seu fluxo de informação e corrigir falhas, considerando seus objetivos prioritários. Os autores ainda mencionam que a integração do sistema de transporte precisa ser apoiada por uma integração paralela do fluxo de informações do processo.

Para isso, existem alguns métodos de melhoria de processo, desde os mais generalistas, que conduzem a uma revisão ampla dos processos de desenvolvimento, até métodos que focam diretamente no fluxo de informação.

Como métodos de melhoria de processo podem-se citar alguns como: o PDCA (Planejar, Fazer, Checar e Agir), aplicável para processos repetitivos de melhoria, proposto por William Edward Deming (1950); a Reengenharia de Processo proposta por Davenport (1994), o qual propõe uma reestruturação radical dos processos da empresa, a Melhoria de Processo proposta por Harrington (1993), que visa melhorar um processo considerando o que já está estabelecido, considerando um processo como: “Qualquer atividade que recebe uma entrada (input), agrega-lhe valor e gera uma saída (output) para um cliente interno e externo”. O autor estrutura os processos em macroprocesso, subprocessos, atividades e tarefas.

Entre os métodos que focam o fluxo de informação do processo, visando corrigi-lo para melhorar a sua integração, tem-se alguns como: o BPMN (Business Process Model and Notation), o IDEFx (Integrated Definition Method) e outros. Cimino et al. (2017) conceituam o BPMN como um sistema de modelagem de fluxo de informação que possui como objetivo principal fornecer uma notação do sistema prontamente compreensível para todos os envolvidos no negócio, por meio de recursos de simulação e modelagem do fluxo das atividades. Em paralelo Vaz; Bacheга (2017) definem o IDEFx como um método de modelagem de dados, informações e processos que funciona por meio de uma simulação dinâmica, representando virtualmente as interações do sistema em análise.

Analisando os métodos mais abrangentes, constata-se que eles abordam a melhoria do processo sem mostrar como modelar um fluxo de informação. Por outro lado, os modelos de fluxo de informação oferecem uma linguagem de representação, sem mostrar como obter os dados para uma modelagem realista da situação operacional do processo.

Visando buscar um método que direcionasse para um processo de análise e correção sistêmica do processo, incluindo a operacionalização da modelagem de um fluxo de informação, incluindo a diretriz de coleta de dados para sustentar essa modelagem, optou-se pelo Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII) proposto por Estorilio (2003), o qual se baseou nos modelo de Harrington (1993) e no BPMN como representação do processo, incluindo uma estratégia para coleta de dados operacionais. Sendo assim, apenas este método será detalhado neste trabalho.

## 2.6 Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII)

O MMFII, proposto por Estorilio (2003), tem como objetivo principal corrigir, integrar e melhorar os fluxos de informações implícitos, permitindo identificar falhas operacionais nas interfaces. De acordo com a autora, o método contribui para a correção de processos que envolvam fluxo de comunicação e informação, além de viabilizar a sua posterior padronização, tornando-os explícitos aos novos atuantes no processo.

Neste contexto, baseado no modelo de Harrington (1993), a autora, divide o desenvolvimento deste método em quatro fases: análise da demanda da empresa, análise do processo de desenvolvimento, análise da situação delimitada e, por fim, a etapa de recomendações. Abaixo, cada fase será detalhada:

- **Análise da demanda da empresa:** busca identificar o objetivo da empresa contratante ao requisitar o estudo, visando compreender a demanda real do trabalho de melhoria. Essa ainda é uma etapa de pré-estudo, a fim de preparar a organização para uma análise mais detalhada. Para alcançar esse objetivo, subdivide-se essa fase em duas etapas:
  - **Compreensão da demanda:** é realizada uma análise para compreender o objetivo do estudo. O analista elabora com os responsáveis da empresa as formas de atuação sobre a demanda, considerando os limites e a abrangência do estudo. Delimita-se também, com os responsáveis da empresa, as liberdades e os limites de estudo durante as análises e em relação às regras de confidencialidade. Apresenta-se a viabilidade de realizar entrevistas com o conjunto de trabalhadores envolvidos no estudo (entrevistas individuais e reuniões em grupo nos locais de trabalho) para que estes possam esclarecer as informações obtidas no início do estudo.
  - **Delimitação do campo de estudo:** é realizado um levantamento das situações em que se encontram a maioria dos problemas relatados. Esse levantamento é realizado com base nos dados apresentados pela gerência da empresa e em entrevistas com alguns envolvidos diretamente com os problemas relatados. O Critério para identificar uma fase crítica leva em consideração a escolha de situações que ocupam um papel central na empresa e cujo funcionamento tem impacto direto

no serviço prestado pela empresa. Ou seja, são delimitadas as situações que geram maior impacto na organização, em função do indicador prioritário para ela, seja custo, qualidade, tempo de resposta ou outro. Espera-se encontrar nesta etapa: a) delimitação do campo de estudo, b) delimitação do processo a ser estudado, c) limitações existentes para a continuidade do estudo, d) indicadores relevantes para a empresa, comprometidos com o problema vigente.

- **Análise do processo de desenvolvimento:** valida as informações obtidas até o momento e define a fase mais crítica para o estudo. Esta fase se divide em duas etapas:
  - **Compreensão do processo de desenvolvimento que contém a fase mais crítica para a empresa:** busca-se conhecer as especificidades do campo de estudo e do processo delimitado da empresa, visando obter uma melhor compreensão das relações existentes no trabalho realizado na etapa investigada.
  - **Redefinir a(s) fase(s) mais crítica(s), delimitando melhor o foco do estudo:** delimita-se a fase mais crítica do processo. Nesse contexto temos: a) campo de estudo delimitado, b) processo de análise delimitado, c) fase mais crítica dentro do processo delimitado.
- **Análise da situação delimitada:** realiza-se uma validação e análise detalhada do fluxo crítico da fase delimitada anteriormente com gerentes e funcionários envolvidos. Essa etapa possui três objetivos: a) modelar a fase delimitada, b) analisar a fase modelada, c) fazer um diagnóstico da situação do trabalho. Esta é a fase mais crítica e, portanto, para que essa análise ocorra de maneira eficaz, de acordo com Estorilio (2003a), necessita-se levar em consideração o seguinte: coletar dados no processo delimitado; modelar o processo de trabalho e validar o modelo junto a todos os funcionários envolvidos; analisar o modelo; correlacionar os problemas com as suas possíveis causas (pode ser utilizado algum método específico para este fim, como Ishikawa ou outros); identificar oportunidades para corrigir o processo e melhorar o seu desempenho; modelar sugestões para a nova configuração da fase estudada; simular a viabilidade de novos arranjos e configurações de trabalho (visando encontrar uma solução que atenda melhor as expectativas dos funcionários e da empresa contratante, assim como, a melhoria



dos indicadores previamente levantados). Para operacionalizar as etapas previamente descritas, sugere-se a seguinte execução:

- Coletar dados junto ao grupo escolhido: essa etapa se torna crítica por ter o objetivo de identificar as variabilidades que podem afetar a parte mais relevante do sistema. Essa coleta de dados é composta por questionários ou entrevistas “semiestruturadas” visando identificar: a) O que o funcionário recebe, de quem e em que momento, b) O que e como ele realiza a tarefa e em quanto tempo, em média, ele a realiza, c) Como e para quem ele repassa os dados resultantes de sua tarefa, e) Quais são as variabilidades mais frequentes, as dificuldades e os limites que afetam a sua tarefa, f) quais problemas costumam acontecer durante o trabalho e outras questões com esse nível de profundidade operacional. A medida em que os dados forem sendo coletados, um fluxograma vai sendo construído e sendo progressivamente ampliado, até abranger todo o processo delimitado para o estudo. Se possível, conectar o fluxo detalhado a um fluxo macro do restante do processo.
- Modelar o processo de trabalho e validar o modelo junto aos funcionários envolvidos: Os dados levantados na etapa anterior começam a se transformar em informações que se configuram através de um fluxograma representativo do fluxo de trabalho e informações, explicitando a integração real do processo. À medida que o fluxo vai sendo gerado, os funcionários devem ser convidados a visualizá-lo com frequência, com a liberdade de complementar o que esteja faltando em termos de tarefa desenvolvida, tempo e conexões. Somente quando o fluxograma não sofrer mais alterações e todos os funcionários estiverem de acordo com a realidade representada por ele é que o fluxo será considerado validado (sugere-se deixar visível fisicamente ou online, com acesso a todos os envolvidos). Esse modelo é considerado a fotografia atual do processo estudado, também chamado de AS-IS model.
- Analisar o modelo: o objetivo desta etapa é analisar o fluxograma a fim de levantar os problemas e as suas respectivas causas. Essa análise é realizada com base nas constatações levantadas ao longo do estudo, incluindo a participação dos funcionários entrevistados e experiência do analista. Neste contexto, formulam-se várias hipóteses de causas para cada problema. Essas

hipóteses formam um pré-diagnóstico que poderá ser analisado na fase seguinte com o auxílio de várias ferramentas da qualidade, como Diagrama de Ishikawa ou 5W e 2H (*what, way, who, where, when, how, how Much / o que, por que, quem, onde, quando, como, quanto*) (PATRICK; ZOHURI, 2021).

- Correlacionar os problemas com as suas possíveis causas: o objetivo é identificar os problemas e as obstruções nas interrelações entre os agentes pertencentes ao processo, visando identificar as suas causas e formas de eliminá-las do processo. Esses problemas são apresentados aos supervisores e funcionários envolvidos como um pré-diagnóstico, visando validar e incluir novas hipóteses e soluções para os problemas existentes.
- Identificar oportunidades para corrigir o processo e melhorar o seu desempenho: com base nas análises realizadas anteriormente, identificam-se as oportunidades de melhoria para o processo em análise.
- Modelar sugestões para a nova configuração da fase estudada: as oportunidades identificadas na etapa anterior são inseridas no modelo anterior, transformando o modelo em uma base para a nova configuração do processo. Este novo modelo também é chamado de TO-BE model. Ele inclui correções e melhorias que se fizerem necessárias.
- Simular a viabilidade de novos arranjos e configurações de trabalho: nesta fase, podendo ser utilizado algum *software* de simulação, consideração dados reais, realiza-se uma simulação da implantação das oportunidades identificadas para o sistema, construído a partir de diferentes cenários, visando encontrar uma solução que atenda as expectativas dos funcionários e da empresa e melhore os indicadores coletados no início do trabalho de melhoria.
- Por fim, uma vez que o processo e/ou fluxo de comunicação é corrigido, integrado e melhorado, inicia-se a etapa seguinte e a padronização do processo.
- **Recomendações**: nesta última fase elabora-se um relatório final e um guia de implantação e padronização para a nova configuração do processo. Caso seja requisitado, o analista pode contribuir para a implantação das correções e melhorias sugeridas. Após a implantação, recomenda-se fazer uma nova medição dos indicadores de desempenho delimitados no início do trabalho, com o objetivo

de comparar seus resultados antes e depois da implementação das correções e melhorias.

Para Estorilio (2003b), o método apresentado se mostrou eficaz em estudos de processos complexos que envolvem, principalmente, um grande fluxo de informação e integração e foi usado como base para implantação de alguns métodos integradores e da metodologia “Engenharia Simultânea”. Entretanto, este método nunca foi aplicado em Sistemas Ferroviários e nunca foi utilizado como fundamentação para automatizar sistemas, nem para implantar sistemas ciber físicos e IoT. Sendo assim, esse será o diferencial deste trabalho de pesquisa.

Com o objetivo de quantificar os ganhos alcançados com a melhoria, é importante identificar os indicadores de desempenho nos processos estudados para que os mesmos possam ser utilizados para medir o desempenho do processo antes e após a aplicação das melhorias e a automatização do sistema, explicitando os ganhos obtidos com o término do trabalho. Sendo assim, uma breve revisão sobre os principais indicadores de desempenho será apresentada.

## 2.7 LEVANTAMENTO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO

Carboni (2018) define indicadores de desempenho como variáveis utilizadas para medir a eficiência do processo por diferentes meios, como econômico ou operacional. Quanto as caracterizações dos indicadores, segundo o autor, devem ser claras, coerentes, compatíveis, controláveis, completos e viáveis. Neste cenário, identificar indicadores de desempenho adequados se torna elemento fundamental para comparar diferentes cenários e fornecer um diretório para apoiar decisões, além de estruturar e priorizar ações neste sistema.

Bowersox et al. (2006) mencionam que o desenvolvimento de indicadores de desempenho para mensuração dos serviços auxilia diretamente no controle e na qualidade das atividades desenvolvidas dentro da empresa, indicando o melhor caminho para a implantação da melhoria do desempenho dentro da organização.

Para Marcena (2005), os indicadores de desempenho ainda podem ser classificados em duas categorias: indicadores de âmbito interno e externo. Os indicadores de âmbito interno monitoram o desempenho dos processos internos relacionados à empresa (exemplo: giro de estoques, tempo de respostas entre

agentes, etc.). Em paralelo, os indicadores de âmbito externo monitoram o desempenho dos serviços prestados pelos parceiros (fornecedores) da empresa.

Neste contexto, alguns autores apresentam os principais tópicos e pontos críticos de controle para mensurar o nível do desempenho operacional em sistemas de transporte logístico. ROMULO (2002) sugere analisar alguns tópicos para identificação de indicadores internos para mensurar o desempenho operacional em um sistema de transporte logístico:

- Custos e nível de serviço;
- Tempos de resposta aos pedidos internos e externos;
- Dados quanto ao grau de satisfação dos clientes;
- Informação sobre o seguimento das reclamações.

Carboni (2018) indica um modelo para identificação dos principais indicadores internos na análise de um processo. Esse modelo se desenvolve apresentando: a) definição de meta para melhorar o desempenho do processo e a seleção de resultados; b) identificação dos eventos centrais dentro do processo a serem monitorados para medição dos indicadores selecionados; c) definição do processo de coleta de dados apropriada; d) realização da medição usando dados de campo coletados; e) comparação dos cenários. O autor ainda apresenta no quadro 1 os principais indicadores de desempenho derivados desta literatura científica que podem ser aplicados a um processo ou subprocesso ferroviário:

**Quadro 1 – KPI's para um processo ou subprocesso ferroviário**

<b>KPI</b>	<b>Descrição</b>	<b>Mensuração</b>
Tdoc	Tempo de troca de documentos	Minutos
Tt	tempo de resposta	Minutos
T_Run	Tempo de deslocamento	Minutos
Qt_op	tempo de operação trens	Minutos

**Fonte: adaptado Carboni (2018)**

Para mensurar o desempenho do processo logístico de transporte de cargas, Marcena (2005) apresenta alguns indicadores representados no quadro 2.

**Quadro 2 – KPI's para um processo logístico de transporte de cargas**

<b>Descrição</b>	<b>Mensuração</b>
Pedidos entregues no Prazo negociado	Quantidade
Tempo de Ciclo do Pedido	Minutos
Tempo médio de processamento do pedido	Minutos

**Fonte: Adaptado Marcena (2005)**

De maneira complementar, Silva; Silva (2007) apresentam quatro indicadores internos utilizados para mensurar o nível de integração de fluxo de informação em um processo, de acordo com o quadro 3.

**Quadro 3 – Indicadores de desempenho para um fluxo de informação**

<b>Descrição</b>	<b>Mensuração</b>
Número de atividades	Quantidade
Número de atividades que não agregam valor	Quantidade
Tempo total gasto	Minutos
Pessoal empregado	Quantidade

**Fonte: Adaptado Silva; Silva (2007)**

Desta forma, para mensurar o desempenho inicial e final deste estudo na aplicação do MMFII, estruturou-se o trabalho com base nos indicadores apresentados por MARCENA (2005) e SILVA; SILVA (2007), de acordo com o quadro 4.

**Quadro 4 – Indicadores de desempenho utilizados no estudo de caso**

<b>Descrição</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Referência</b>
Pedidos entregues no Prazo negociado	Quantidade	Marcena (2005)
Tempo de Ciclo do Pedido	Minutos	Marcena (2005)
Tempo médio de processamento do pedido	Minutos	Marcena (2005)
Número de atividades	Quantidade	Silva; Silva (2007)
Tempo de operação dos trens	Minutos	Silva; Silva (2007)
Pessoal empregado	Quantidade	Silva; Silva (2007)

**Fonte: Autoria própria (2021)**

### 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a classificação da pesquisa e detalha as etapas utilizadas para concluir o objetivo geral, incluindo os aspectos metodológicos que estruturaram esse trabalho.

#### 3.1 ETAPAS PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O quadro 5 apresenta a matriz de amarração metodológica para estruturar o projeto de pesquisa e o desenvolvimento das etapas do trabalho.

**Quadro 5 – Matriz de amarração metodológica**

<b>Objetivo Geral:</b> proposta de correção e melhoria na integração de um processo logístico ferroviário, incluindo a sua automatização através da implantação de sistemas ciber físicos e internet das coisas.			
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Pontos de investigação</b>	<b>Levantamento de dados</b>	<b>Forma de representação dos dados</b>
Detalhar o funcionamento do Sistema de Transporte Ferroviário de Cargas (STFC), incluindo o fluxo do processo de informação e seus pontos críticos de integração.	Revisão de literatura sobre estudos de caso que apresentem o funcionamento e a evolução de um STFC e as suas variáveis de Integração.	Revisão de literatura sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte ferroviário</li> <li>• Processos sistêmicos ferroviários</li> <li>• Integração de sistemas</li> <li>• Evolução tecnológica</li> </ul>	Estudos e revisões visando coletar essas informações.
Levantar indicadores de desempenho usados para medir a eficiência e a qualidade dos níveis de serviços em STFC.	Revisão bibliográfica sobre os indicadores específicos para o TFC.	Revisão de literatura sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicadores para desempenho interno do TFC;</li> </ul>	Estudos e revisões visando coletar essas informações.
Detalhar como os sistemas cyber-físicos e simuladores operam sobre um fluxo de informação e operação em sistemas TFC.	Revisão da literatura que abordem como os sistemas cyber-físicos e simuladores operam sobre um fluxo de informação e operação em sistemas TFC.	Revisão de literatura sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística 4.0</li> <li>• Sistemas Ciber Físicos</li> <li>• Internet das coisas (Iot)</li> </ul>	Estudos e revisões visando coletar essas informações.

Objetivos específicos	Pontos de investigação	Levantamento de dados	Forma de representação de dados
Aplicar um método adequado para melhorar a integração de um processo de STFC crítico, que permita a inclusão de sistemas inteligentes	Revisar os principais métodos de integração de processo. Escolher uma estratégia adequada para correção de integração de processo de negócio e implantação de tecnologias. Detalhar a estratégia de funcionamento do método escolhido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII)</li> </ul>	Desdobramento do método, subdivido em quatro etapas: análise da demanda, análise do processo de desenvolvimento, análise da situação delimitada, recomendações.
Avaliar o desempenho e a eficiência do método escolhido em relação ao impacto na integração e automatização do processo de um STFC.	Aplicar o roteiro em campo real, incluindo as medições dos indicadores escolhidos antes e após o processo de melhoria e implantação.	Comparar os <u>indicadores</u> coletados <u>no início</u> do procedimento e <u>após</u> a implantação das melhorias e dos sistemas instalados e em operação.	Comparação quantitativa dos KPIs do processo (inicial e final).

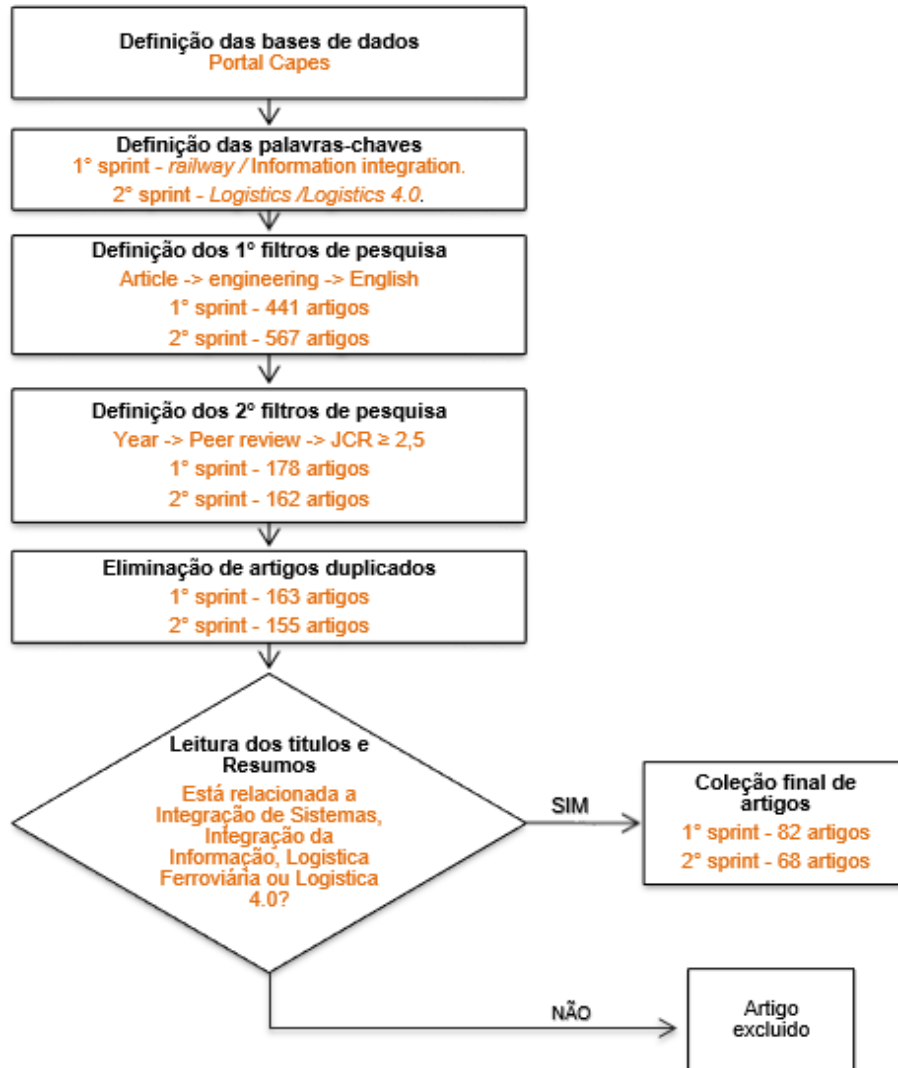
Fonte: Autoria própria (2021)

### 3.1.1 Revisão sistemática da Literatura

Por meio desta revisão sistemática buscou-se responder a um dos objetivos específicos deste trabalho, que se resume em detalhar o funcionamento do Sistema de Transporte Ferroviário de Cargas (STFC), incluindo o fluxo do processo de informação e seus pontos críticos de integração de maneira a apresentar trabalhos mais relevantes sobre o assunto.

Sendo assim, a revisão bibliográfica se dividiu em 5 etapas: 1) seleção da base de dados, 2) seleção das palavras-chaves, 3) critérios de inclusão e exclusão, 4) leitura de títulos e resumos e por fim, 5) coleta para dos artigos para base final. Neste contexto, utilizou-se o protocolo de revisão sistemática sugerido por Tranfield et al. (2003), estruturando-se de acordo com a figura 7:

**Figura 7 – Fluxo de Revisão sistemática da literatura**



Fonte – Autoria própria (2021)

Para acessar as publicações mais relevantes, utilizou-se apenas a base de dados do portal da Capes. A fim de se obter as palavras-chaves, testou-se diversas combinações visando avaliar os resultados quantitativa e qualitativamente, até a obtenção de títulos relevantes e coerentes com o objetivo do trabalho.

Após a combinação das palavras chaves, determinou-se alguns critérios de inclusão e exclusão, a fim de filtrar os melhores e mais relevantes trabalhos sobre o tema. Foram considerados apenas os artigos na área de engenharia, publicados originalmente em inglês até março de 2021, revisados por pares, e com fator de impacto JCR  $\geq 2,5$ .

A lista de artigos resultante desta triagem foi submetida a leitura de títulos, visando eliminar duplicações e em um segundo momento, encontrar artigos correlacionados diretamente com o escopo de pesquisa (Integração de Sistemas,



Integração da Informação, Logística Ferroviária ou Logística 4.0). Apenas os trabalhos relacionados com o tema foram considerados para as análises. Neste ponto, os seguintes critérios de exclusão foram adotados: trabalhos que apenas citaram integração ou logística ferroviária como exemplo ou em contexto tangencial ao tema foram desconsiderados.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O tipo de pesquisa desenvolvida neste estudo se caracteriza como aplicada e qualitativa. Neste contexto, sua natureza é aplicada pois busca desenvolver a aplicação do método por meio de situações práticas, com a solução de problemas específicos na área trabalhada (Freitas et al. 2018). Carly (2013) menciona que a pesquisa de natureza aplicada tem como objetivo promover soluções aos problemas corporativos, de maneira a analisar como eliminar aquele desvio de maneira real.

Quanto à caracterização qualitativa, enquadra-se nesta natureza por buscar apresentar descrições detalhadas de ações e comportamentos analisados no campo de pesquisa, buscando informações junto a pessoas que participam ativamente do objeto foco do estudo, por meio de documentos, registros, entrevistas, observações ou interações entre os indivíduos, levando em consideração pela riqueza de detalhes levantados (GUILHERME ET AL. 2012).

Gergardt; Silveira (2009) afirmam que a pesquisa qualitativa se estrutura da seguinte forma: a) definição de um alvo de pesquisa, b) definição do problema a ser estudado, c) levantamento bibliográfico de outros estudos semelhantes, e por fim, e) definição dos procedimentos de pesquisa. Para as autoras, esse último item (definição dos procedimentos de pesquisa) se enquadra de acordo com as características da pesquisa, podendo ser por exemplo um estudo de caso, uma pesquisa bibliográfica, documental, ou uma pesquisa ação.

No contexto do desenvolvimento desta pesquisa, enquadram-se os procedimentos metodológicos como estudo de caso. Guilherme et al. (2012) mencionam que o estudo de caso pode ser definido como um levantamento geral das condições e realidades específicas que se apresentam ao pesquisador, quando ele se coloca diante do objeto de pesquisa. Para os autores, neste contexto de análise, esse levantamento de dados de maneira detalhada será capaz de perceber como as

instituições operam para a delimitação das especificidades características de um determinado grupo de indivíduos, indivíduos isolados ou empresas por exemplo. A partir da compreensão de um caso, pode-se tirar conclusões válidas para casos semelhantes.

De acordo com Yin (2005), as evidências para um estudo de caso se caracterizam por seis fontes distintas de análise: documentos, registros em arquivo, entrevistas e observações diretas dos participantes para melhorar o entendimento e a constatação do problema, de acordo com a figura 8:

**Figura 8 – Fontes de análise de um estudo de caso**



Fonte: adaptado Yin (2005)

Conforme demonstrado na figura 08, esse tipo de estudo se destaca por utilizar fontes múltiplas de evidências e coleta de dados. Desta maneira, qualquer conclusão em um estudo ou análise de processo será sempre acurada e baseada em várias fontes distintas de informação daquele processo.

### 3.2.1 Descrição do procedimento de coleta de dados

No contexto de desenvolvimento deste estudo de caso, utilizou-se as seguintes fontes para evidências e coletas de dados:









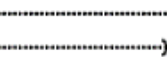



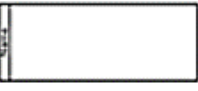
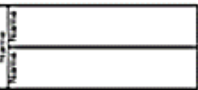
- Entrevistas semiestruturadas com executivos da empresa onde o estudo foi realizado, seguindo as diretrizes do método MMFII, revisado no capítulo 2.
- Análise documental e observação do processo pelo analista;
- Entrevistas semiestruturadas com os demais funcionários da empresa, seguindo as diretrizes do método MMFII.

O desenvolvimento da entrevista, de acordo com Moraes (2010), buscou atingir o maior número de funcionários que desempenhavam atividades chaves na empresa,

considerando que esse tipo de estudo é dinâmico e personalizado, as perguntas foram adaptadas em função das respostas do entrevistado e da demanda específica do estudo, permitindo a liberdade dos funcionários em sugerir correções e melhorias no momento em que os mesmos estavam respondendo às perguntas.

Além disto, utilizou-se uma ferramenta de modelagem gratuita (Bizagi) para modelar o sistema de acordo com os dados levantados nas entrevistas, transformando esses dados em informações. Nesse contexto, o quadro 6 apresenta os símbolos utilizados para representação dos dados coletados em forma de fluxograma.

Quadro 6 – Símbolos básicos para desenvolvimento da modelagem de processo

ELEMENTO	DESCRIÇÃO	NOTAÇÃO		
Objetos de Fluxo (Flow Objects)	Evento	É algo que acontece durante um processo podendo interferir no início, meio ou fim. São representados por círculos e podem conter informações associadas.		representa o início
				representa o meio ou intermediário
				representa o fim
	Atividade	Atividades podem ser divididas em tarefa ou subprocesso. As atividades representam o trabalho realizado. Os subprocessos são conhecidos como atividades compostas, dentro de um mesmo diagrama de negócio e podem ser abertos ou fechados.		representa a atividade na forma geral
				representa um subprocesso
Gateway	São elementos para controle em casos de divergência ou convergência e determina decisões ao longo do fluxo.		representa uma decisão na forma geral	
Objetos de Conexão (Connections Objects)	Seqüência	Utilizados para demonstrar a ordem das atividades em um processo.		representado por uma linha sólida
	Mensagem	Utilizado para demonstrar o fluxo das mensagens entre as atividades.		representado por uma linha tracejada
	Associação	Utilizado para associar dados, texto, e outros artefatos com os objetos de fluxo e demonstram as entradas e as saídas das atividades.		representado por uma linha pontilhada
Artefatos (Artifacts)	Dados	Representa um documento, uma informação ou outro objeto qualquer que é utilizado ou modificado ao longo do processo.		representado por linhas pontilhadas
	Anotação	Utilizado para fornecer dados adicionais ao fluxo, atividade, processo.		representação gráfica
	Grupo	Usado para finalidades de documentação ou de análise.		representado por um retângulo tracejado de cantos arredondados
Raias (Swimlanes)	Pool	Utilizado para representar e definir um processo ou um participante, porém não representa os departamentos da empresa.		representação gráfica
	Lane	É uma subdivisão dentro do processo para organizar as atividades. Usada para separar os processos dentro de uma organização.		representação gráfica

Fonte: Palacios (2020)

### 3.3 ETAPAS PARA DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO PROPOSTO

Para Gergardt; Silveira (2009), seguir etapas sequenciais são importantes para o desenvolvimento de qualquer método de pesquisa científica, visto que auxiliam o investigador a conduzir e alcançar as respostas para suas perguntas, a desenvolver

seu objetivo de pesquisa e a dividir o estudo em partes que serão analisáveis, de acordo com um processo lógico.

Neste contexto, a aplicação do método irá seguir as quatro etapas sequenciais do método MMFII para estruturação do processo de correção, integração e melhoria, de acordo com o quadro 7.

**Quadro 7 – Macro sequências para aplicação do método**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição das atividades</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Envolvidos</b>
<b>Análise da demanda – Etapa 1</b>	1.1 - Compreensão da demanda	Entrevistas	Executivos
	1.2 - Delimitação do campo de estudo	Entrevistas, Fluxograma, KPI's	Executivos / Supervisores
<b>Análise do processo de desenvolvimento – Etapa 2</b>	2.1 - Compreensão do processo de desenvolvimento que contém a fase mais crítica para a empresa	Fluxograma	Gerentes
	2.2 - Redefinir a(s) fase(s) mais crítica(s), delimitando melhor o foco do estudo	Entrevistas	Gerentes, supervisores
<b>Análise da situação delimitada – Etapa 3</b>	3.1 - Coletar dados junto ao grupo escolhido	Entrevistas, questionários	Supervisores, operacional
	3.2 - Modelar o processo de trabalho e validar o modelo junto aos funcionários envolvidos	Fluxograma	Supervisores, operacional
	3.3 - Analisar o modelo	Brainstorming KPIs	Supervisores, operacional
	3.4 - Correlacionar os problemas com suas possíveis causas	Diagrama de Ishikawa, Brainstorming	Supervisores, operacional
	3.5 - Identificar oportunidades para melhorar o desempenho da fase estudada	Brainstorming	Supervisores, operacional
	3.6 - Modelar sugestões para a nova configuração da fase estudada	Fluxograma	Supervisores, operacional
	3.7 - Simular a viabilidade de novos arranjos e configurações de trabalho	Amostragem	

<b>Etapa</b>	<b>Descrição das atividades</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Envolvidos</b>
<b>Recomendações – Etapa 4</b>	4.1 - Guia de implantação e padronização da nova configuração	Treinamentos, POP, KPIs	Gerentes, supervisores, operacional

**Fonte: Autoria própria (2021)**

O método MMFII será aplicado em campo de acordo com o quadro 7 e como terceiro objetivo específico da pesquisa (aplicar um método adequado para melhorar a integração de um processo de STFC crítico, que permita a inclusão de sistemas inteligentes). O foco dessa aplicação é a resolução de cinco problemas decorrentes da falta de integração do fluxo de informação de um sistema de transporte e que impactam diretamente na qualidade e no nível de serviço dos processos logísticos (Silva; Kawakame, 2019). Os problemas são os seguintes:

- a) Cumprimento de prazos previamente acordados;
- b) Integração entre os agentes da empresa;
- c) Busca do aperfeiçoamento e melhoria global, atendendo as expectativas do cliente frente aos prazos desejados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo apresenta a melhoria dos processos de um STFC, incluindo a sua automatização através da implantação de sistemas ciber físicos e internet das coisas, o qual foi desenvolvido em uma empresa brasileira de grande porte.

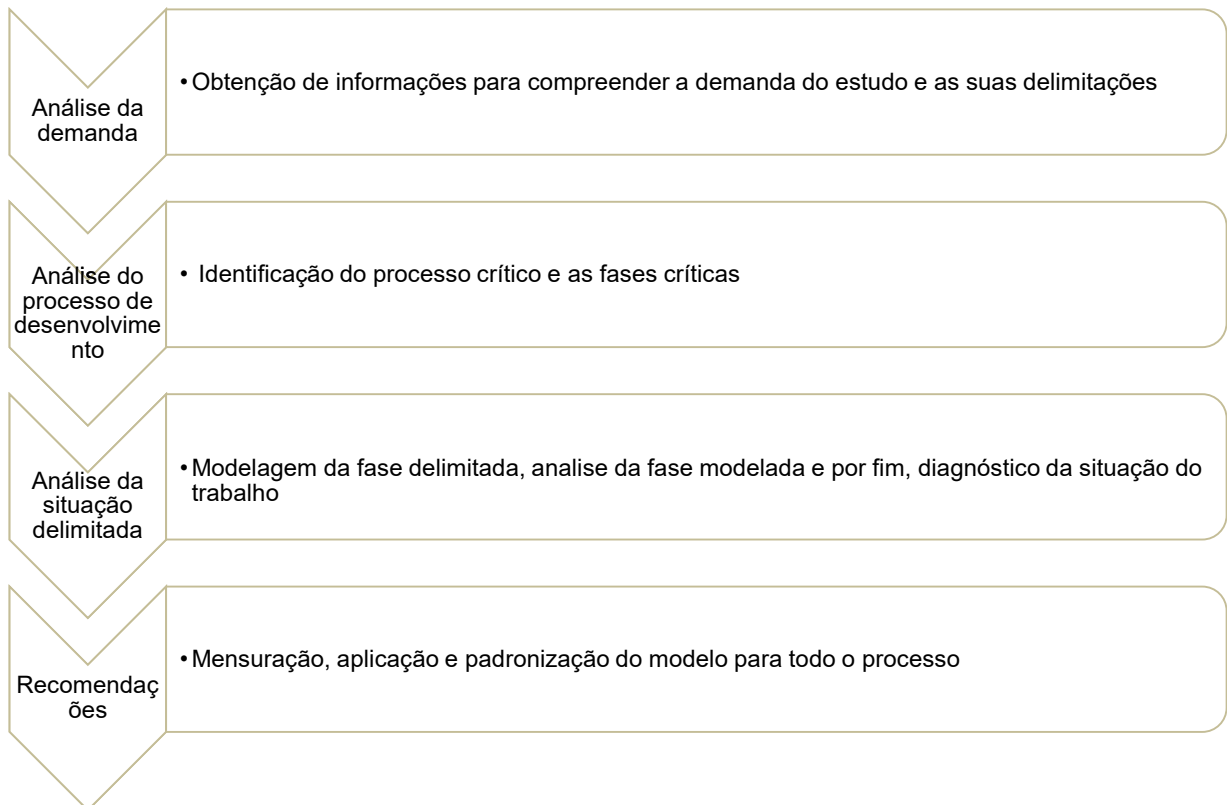
### 4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi aplicado entre fevereiro e julho de 2021 em uma empresa de médio porte localizada na região sudoeste. Essa empresa oferece serviços de transporte de diversas cargas como grãos, congelados, madeira, milho, entre outros. Considerando todas as filiais, a empresa possui aproximadamente 400 funcionários. A filial administrativa, onde o estudo foi realizado, está estruturada da seguinte forma:

- a) Setor de planejamento: com 1 supervisor e 2 funcionários em horário comercial;
- b) Setor operacional: com 1 supervisor e 6 funcionários em horário comercial;

Os dois setores administrativos acima estão sob a gestão de 1 gerente (Gerente de Logística), responsável pela gestão do processo de planejamento e execução das cargas. Em um primeiro momento, identificou-se a dificuldade destes setores em oferecer serviços de entrega de cargas dentro do prazo acordado com o cliente. Dada essa demanda, a proposta desse projeto de pesquisa foi apresentada, a qual seria conduzida utilizando como diretriz, as etapas e condução proposto pelo método MMFII, visando corrigir, integrar e automatizar o processo operativo. As macro etapas estão descritas no fluxograma mostrado na Figura 9.

**Figura 9 – Macro fluxo de desenvolvimento do estudo**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Considerando as etapas mostradas no fluxograma (figura 9), a aplicação de cada uma delas será detalhada, incluindo as estratégias utilizadas durante as suas execuções.

## 4.2 ANÁLISE DA DEMANDA

Esta etapa buscou identificar o objetivo da empresa contratante ao requisitar o estudo e em paralelo, compreender a demanda real do trabalho de correção e melhoria do processo, identificando o maior problema da empresa. Importante destacar que essa etapa ainda representa um pré-estudo, a fim de preparar a organização para uma análise mais detalhada.

### 4.2.1 Compreensão da demanda

Neste contexto, para compreender a demanda pelo estudo, identificando o maior problema enfrentado pela empresa, realizou-se uma reunião com os executivos da empresa, discutindo todas as formas de atuação, levando em consideração todos os limites e a abrangência de análise. Nesta reunião os executivos apontaram que o maior problema enfrentado pela empresa estava relacionado ao cumprimento de



prazos estabelecidos com os clientes e a integração do fluxo de informação entre os funcionários, porém, os mesmos não conseguiram identificar qual era a etapa mais frágil do processo que desencadeava todos os atrasos, tão menos qual seria o método mais adequado para corrigir esse processo e integrar o fluxo de informação. Em um segundo momento da reunião, os executivos apresentaram os gestores responsáveis por cada setor, discutindo as liberdades e os limites de estudo durante as análises em relação às regras de confidencialidade da empresa.

Em um terceiro momento da reunião, analisou-se e validou-se a viabilidade de realizar entrevistas com o conjunto de trabalhadores envolvidos no processo, deixando claro que o foco das perguntas era o esclarecimento das informações a respeito do funcionamento do processo.

#### 4.2.2 Delimitação do campo de estudo

Visando delimitar o campo de estudo, realizou-se algumas entrevistas com os executivos da empresa, os quais apresentaram o tipo de serviço prestado, seus clientes diretos e indiretos e o modelo de funcionamento do negócio. As perguntas também ajudaram a compreender a dinâmica de funcionamento do processo e o cenário da demanda, de acordo com o quadro 8.

**Quadro 8 – Primeira fase de perguntas para compreensão da demanda**

<b>Perguntas para entendimento da demanda</b>	<b>Resposta</b>
1 - Quais são os serviços desenvolvidos na empresa?	Serviço de transporte ferroviário de cargas.
2 - Por que da demanda desse tipo de estudo?	Reduzir o ciclo de entrega dos produtos e melhorar o fluxo de comunicação interna dos funcionários, reduzindo custos e gerando valor ao processo.
3 - Como ocorre o desenvolvimento do serviço que vem apresentando mais problemas?	O setor de planejamento recebe a demanda para transporte de um produto do cliente 1, esse setor de planejamento posteriormente realiza uma análise e validação desta demanda e envia para o setor operacional. O Setor operacional então recebe esse produto, aloca em um armazém e carrega posteriormente o produto em trem. Posteriormente o produto é transportado via ferrovia para um terminal de transbordo, onde é carregado via rodovia para o destino solicitado pelo cliente 1, entregando depois na planta do cliente 2 (cliente do cliente).

Perguntas para entendimento da demanda	Resposta
4 - O desenvolvimento do serviço acontece inteiramente na empresa?	Sim, o serviço é desenvolvido inteiramente na nossa empresa. O cliente 1 apenas compartilha a demanda de transporte e entrega o produto no terminal de origem, mas o processo é desenvolvido inteiramente na empresa.
5 - Em quanto tempo se desenvolve cada serviço?	O processo de recebimento da demanda, planejamento, execução e carregamento ferroviário ocorre na média de 5 dias. Depois considera-se um tempo padrão de 2 dias de trânsito ferroviário e mais 1 dia para entregar até a planta do cliente final. Fechando um ciclo total de 8 dias.
6 - Quais são as condições impostas pelo mercado consumidor (prazo de entrega, qualidade exigida, entre outros)?	Ciclo total solicitado pelos clientes são de 6 dias.

Fonte: Adaptado Estorilio (2003)

De acordo com as informações obtidas, foi possível identificar cinco grandes áreas envolvidas em um processo de transporte. O processo consiste no cliente 1 que pretende entregar um produto para o cliente 2. A carga é levada para um terminal de transbordo (terminal de origem) e, posteriormente, transportada via ferrovia para um segundo terminal de transbordo (terminal de destino). Em seguida, a carga é levada via sistema rodoviário para a planta do cliente 2, ou seja, o cliente do cliente (figura 10).

Figura 10 – Representação do processo geral



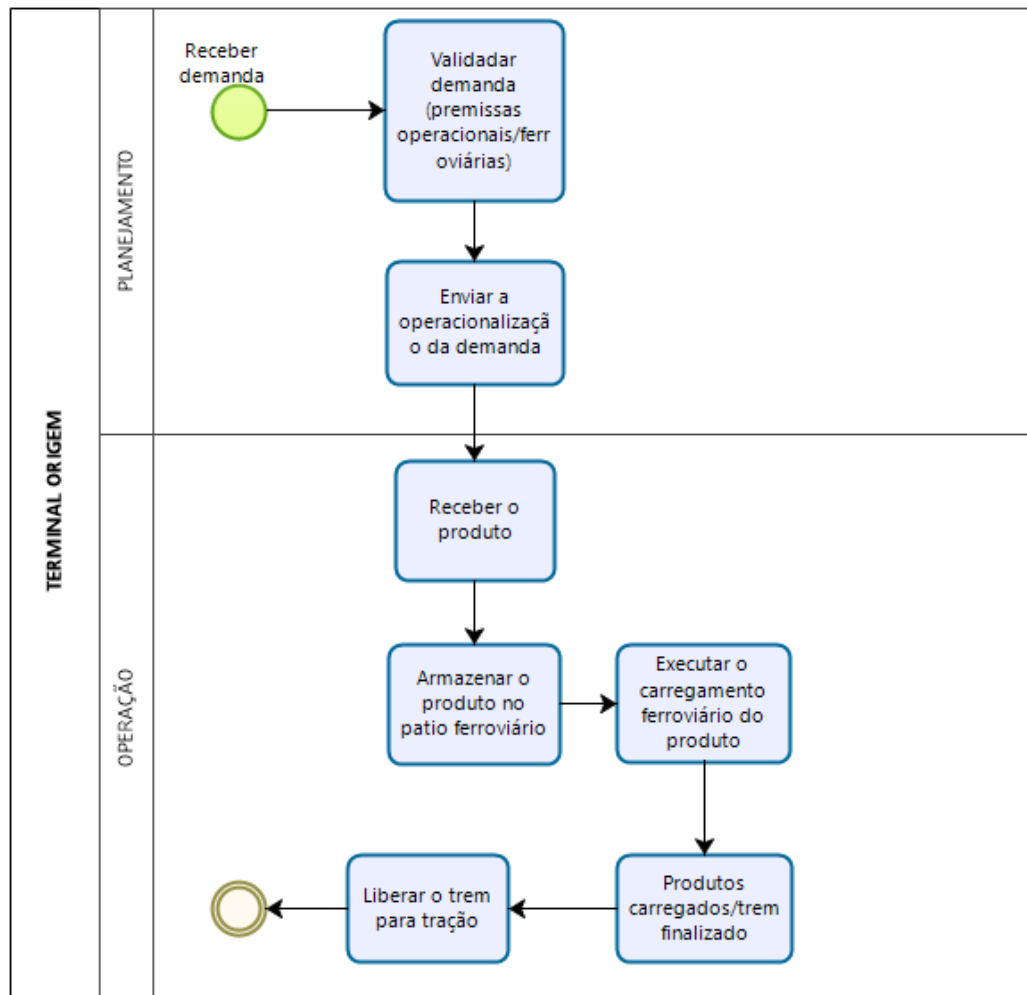
Fonte: Autoria própria (2021)

Neste processo de delimitação do campo de estudo, constatou-se que a etapa que apresenta maior número de problemas está concentrada nos processos internos executados no terminal de origem (figura 10), relacionado ao recebimento e

carregamento do produto no trem. Os problemas, de acordo com os dados levantados nas primeiras entrevistas, estão relacionados: ao cumprimento de prazos acordado com os clientes; à integração entre os funcionários da empresa e ao aperfeiçoamento e melhoria dos serviços internos.

Neste contexto, para auxiliar na etapa de delimitação do processo que gera o maior impacto para a organização, realizou-se um macro fluxo das atividades desenvolvidas nos processos do “terminal de origem”, apresentadas abaixo na figura 11.

**Figura 11 – Representação do processo crítico**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Por meio do macro fluxo apresentado na figura 11, foi possível visualizar a representação do processo crítico, para que posteriormente, o mesmo pudesse ser delimitado e estudado. Em paralelo, realizou-se uma terceira rodada de entrevistas com os supervisores lotados no “terminal de origem”, de maneira a delimitar e

compreender o processo crítico e identificar as demais interações com os outros setores. As perguntas feitas aos supervisores são apresentadas no quadro 9.

**Quadro 9 – Terceira fase de perguntas para compreensão do processo no “Terminal de origem”**

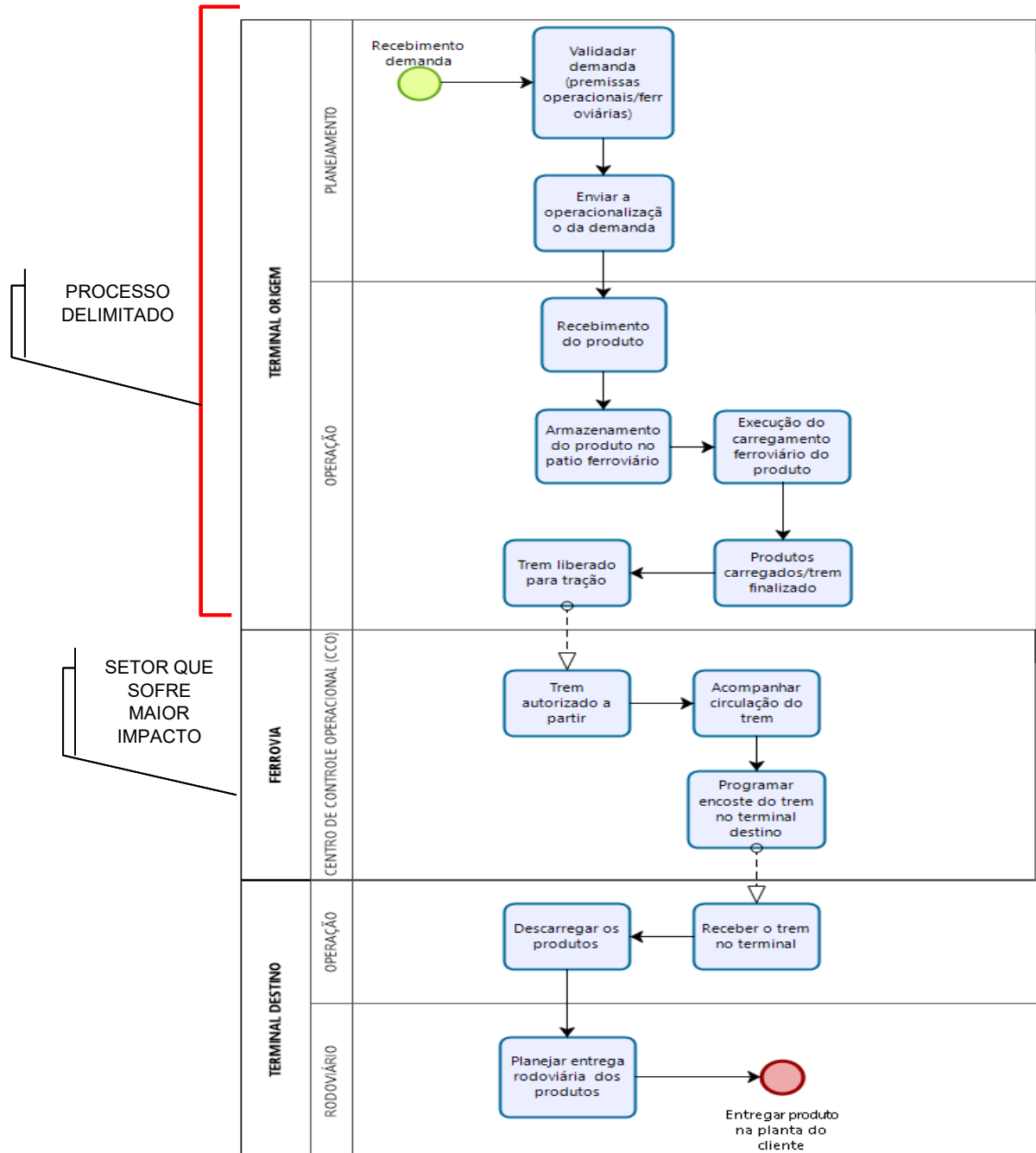
<b>Perguntas para o entendimento do processo</b>	<b>Resposta</b>
1 - Como são distribuídas as tarefas dentro do processo?	As tarefas e o fluxo da comunicação dentro do processo se dá através de e-mails.
2 - Como os especialistas estão agrupados?	Não possui especialistas, apenas supervisores; 1 em cada área.
3 - Quais são as partes mais críticas do serviço que vem apresentando mais problemas?	Alto tempo de processamento dos pedidos entre agentes, excesso de e-mails
4 - Quem são os responsáveis por essas partes?	
5 - Qual é o número de especialistas envolvidos com essas partes do serviço?	Não possui especialistas, apenas supervisores; 1 em cada área.
6 - Por que essas partes apresentam problemas?	-
7 - Quais são os impactos desses problemas no serviço final?	Aumento do ciclo de entrega do produto, aumento dos custos do serviço, redução no nível de qualidade do serviço prestado.
8 - Quais são os “motivos aparentes” desses problemas?	Problemas de comunicação entre os setores
9 - Em que momento do processo (em que fase) iniciam os problemas?	Na fase primária do processo de entrega dos produtos
10 - Qual é a estrutura organizacional da empresa e, mais especificamente, da fase onde se iniciam os problemas?	Planejamento possui 1 supervisor e 2 analistas e o setor operacional possui 1 supervisor, 3 analistas e 3 assistentes.
11 - Quais são os setores que apresentam interface com essa fase?	CCO, Operação (terminal destino), rodoviário.
12 - Quais são os setores que sofrem maior impacto quando ocorrem as alterações das partes do serviço?	CCO (Centro de controle operacional), visto que precisam replanejar as partidas dos trens.

**Fonte: Adaptado de Estorilio (2003)**

De acordo com o quadro 9, foi identificado com os supervisores que grande parte dos problemas estavam nas interfaces dos setores de planejamento e operação, alocados fisicamente no terminal de origem (figura 11). Sendo assim, definiu-se que

o processo a ser delimitado seria a interface da execução das atividades internas dos dois setores (planejamento e operação), apresentados na figura 11, abordando também, seus limites e suas interfaces com os outros setores, representados na figura 12.

**Figura 12 – Representação do processo delimitado com a interface com os demais setores**



Fonte: Autoria própria (2021)

A figura 12 mostra a representação final do processo crítico delimitado, esboçando de maneira macro as interfaces das demais áreas identificadas na entrevista apresentada no quadro 9.

Para mensurar a efetividade do estudo, validou-se com a direção da empresa alguns indicadores de desempenho a serem utilizados antes e depois da realização desse trabalho, conforme mostrados previamente no quadro 7. Os indicadores apresentam os dados do processo crítico delimitado, durante a entrega de seis lotes de produtos, de acordo com o quadro 10.

**Quadro 10 – Indicadores validados na etapa de “análise da demanda”**

<b>COD</b>	<b>Descrição</b>	<b>Planejado</b>	<b>Real</b>	<b>Delta</b>
Q1	Lotes entregues no Prazo negociado	6	4	66% dos pedidos entregues no prazo (cálculo = Real/Planejado x 100)
Q2	Tempo médio do Ciclo do produto (terminal origem)	96	119,5h	48h acima do planejado
Q3	Tempo médio de operação dos trens	10h	18h	8h acima do planejado
Q4	Tempo ciclo total de entrega do produto	144h	191,5h	47,5h acima do planejado

**Fonte: Autoria própria (2021)**

De acordo com o quadro 10, identificou-se que apenas 66% dos lotes (indicador Q1) estavam sendo entregues no prazo estipulado com o cliente. No indicador Q2, mensurou-se o tempo médio do ciclo do produto no terminal de origem, no qual é calculado a partir do momento de validação das entregas até a saída ferroviária do trem. Observou-se que o mesmo está 48h acima do planejado. Quanto ao indicador Q3, o mesmo reúne o tempo médio de operação de 6 trens, no qual se apresentou 8h acima do planejado. Por fim, o último indicador Q4 indica o tempo total da operação, do momento de validação das entregas, até a entrega na planta do cliente final.

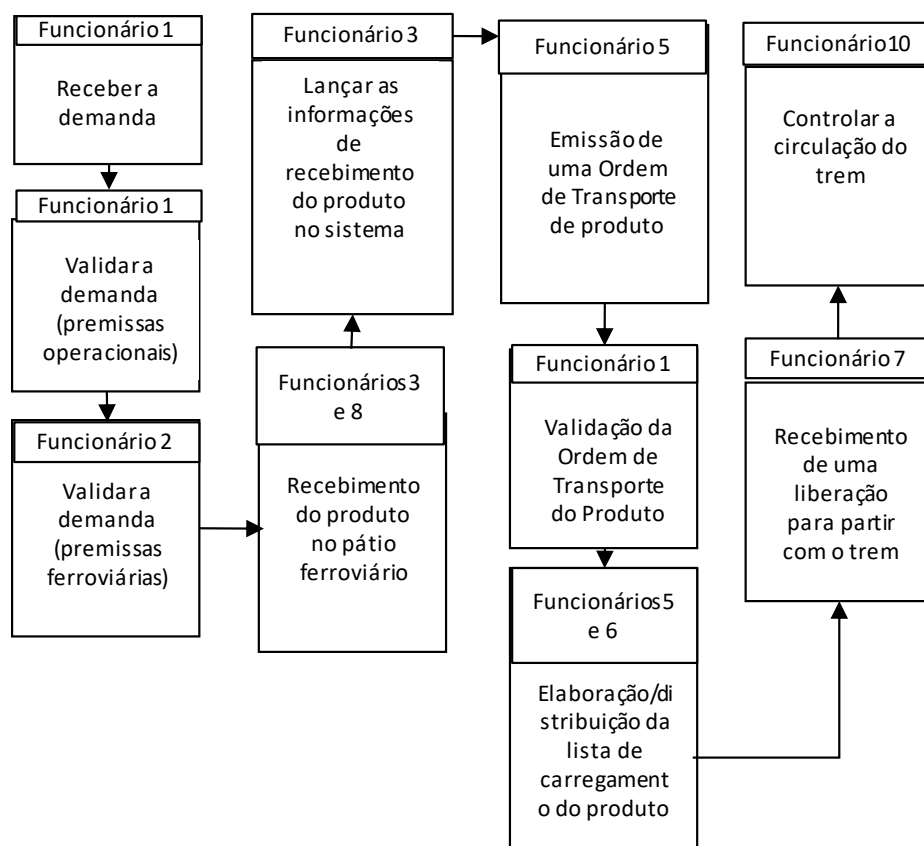
#### 4.3 ANÁLISE DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Após identificar a demanda pelo estudo e delimitar o processo a ser estudado, inicia-se a etapa de análise do processo de desenvolvimento em questão, buscando conhecer as especificidades do processo delimitado da empresa, para obter uma melhor compreensão das relações existentes no trabalho realizado.

#### 4.3.1 Compreensão do processo da fase mais crítica para a empresa

Para aprofundar o conhecimento e a compreensão do processo de desenvolvimento que contém a fase mais crítica do estudo, elaborou-se um segundo fluxo com as interações de cada funcionário. Essa representação foi apresentada na figura 13.

**Figura 13 – Primeiro esboço das interações do processo**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Esse primeiro esboço das interações dos agentes no processo delimitado foi construído de maneira colaborativa, com a ajuda dos supervisores, baseada na figura 12. Levando em consideração esse terceiro fluxograma apresentado na figura 13, foi possível compreender o fluxo de interação macro do processo, servindo também como base para auxiliar na delimitação da(s) fase(s) mais crítica(s), apresentada(s) no próximo tópico.

#### 4.3.2 Redefinição da(s) fase(s) mais crítica(s), delimitando melhor o foco do estudo

Buscando delimitar melhor as fases mais críticas do processo, levantou-se, com os funcionários envolvidos diretamente no processo, os problemas mais comuns que ocorriam durante a execução das atividades, representados no quadro 11. O detalhamento das atividades no que diz respeito a interação dos funcionários, tempo médio de execução, incluindo entradas e saídas, serão apresentados posteriormente, no tópico 4.4.1.

**Quadro 11 – Terceira fase de perguntas para compreensão do processo**

<b>Setor/Função</b>	<b>Problemas levantados</b>	<b>Setor Envolvido</b>
<b>Setor: Planejamento</b>  <b>Função: Analista de planejamento</b>  <b>Funcionários 1 e 2</b>	As validações das demandas são montadas via Excel e compartilhados via e-mail; quando ocorrem alterações ou inclusões se faz necessário buscar o último e-mail para dar continuidade no assunto, gerando percas de tempo ao tentar localizar o último e-mail. Por conta deste fator as informações ficam inteiramente centralizadas em e-mails e planilhas.	Planejamento
<b>Setor: Operação</b>  <b>Funções: Analista de operação e assistente de operação</b>  <b>Funcionários 3,4, 5, 6, 8 e 9.</b>	Os funcionários 3,4 e 5 não são envolvidos no processo de validação da demanda (funcionários 1 e 2).	Planejamento
	As informações de recebimento dos produtos são recebidas inteiramente via e-mails.	Planejamento
	As informações não ficam disponíveis de maneira ágil (apenas em e-mails e planilhas); dificultando uma consulta rápida em caso de dúvidas a respeito do produto.	Planejamento
	Informações de alteração no planejamento da operacionalização da entrega dos produtos sempre são comunicadas via e-mail (funcionário 1 e 2). Neste caso nem sempre são visualizadas no prazo correto.	Planejamento
	É comum o analisa operacional (funcionário 3) buscar mais informações nos e-mails para realizar o lançamento em sistema dos dados do produto, o que acaba desencadeando um tempo excessivo na busca desta informação, refletindo no atraso ao gerar a Ordem de transporte do produto.	Planejamento



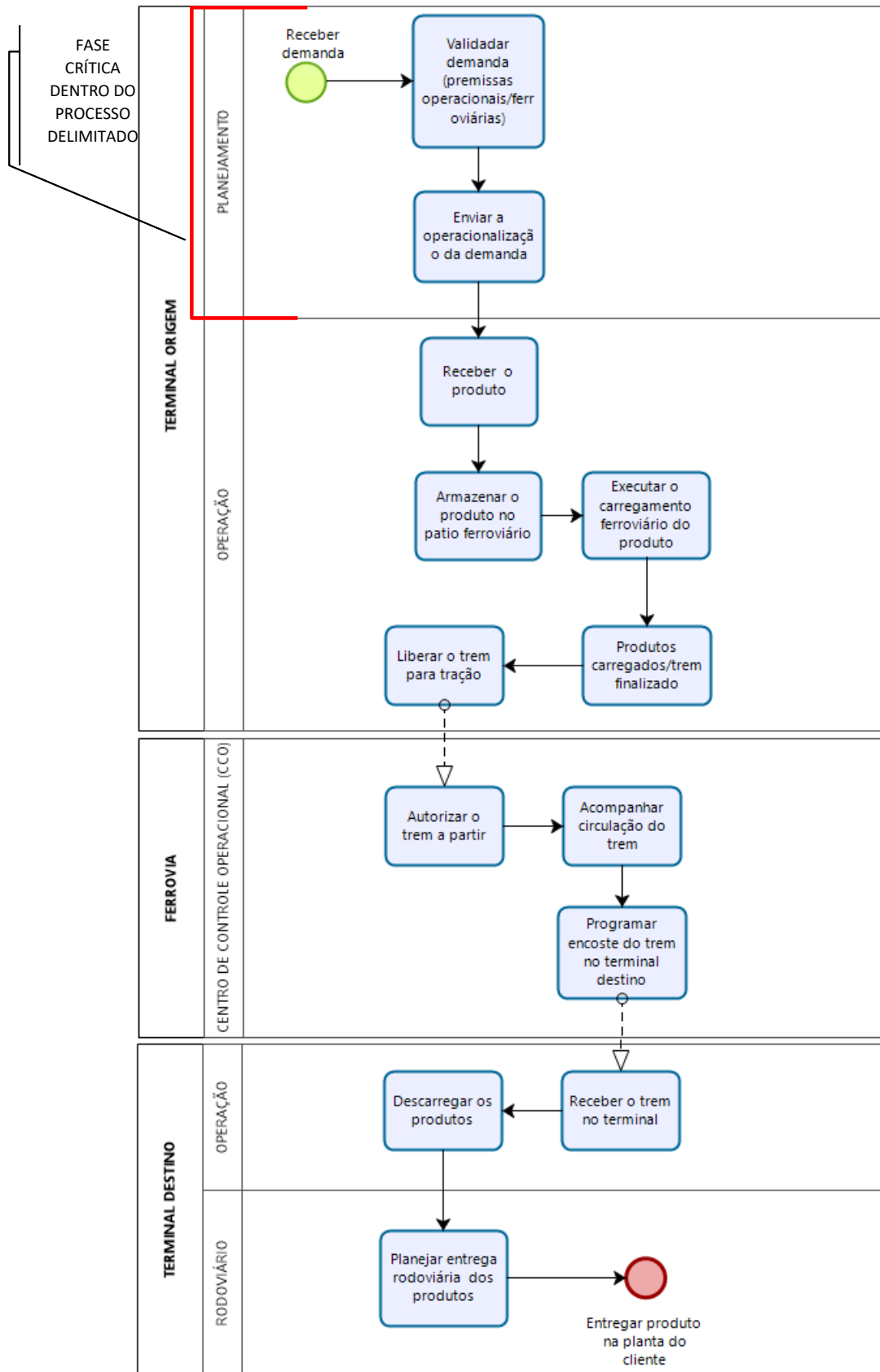
<b>Setor/Função</b>	<b>Problemas levantados</b>	<b>Setor Envolvido</b>
<b>Setor: Operação</b> <b>Funções: Analista de operação e assistente de operação</b> <b>Funcionários 3,4, 5, 6, 8 e 9..</b>	Após receber um e-mail automático com a validação da Ordem de Transporte, o analista operacional (funcionário 5) precisa coletar os critérios de carregamento informado no e-mail, montar uma lista de carregamento de produto (via Excel). Essa lista é enviada para o funcionário 6 que imprimir e compartilhar com os assistentes de pátio para que os mesmos possam executar o serviço. Esse processo é crítico e demorado.	Planejamento
<b>Setor: CCO</b> <b>Função: Analista de CCO</b>	Ocorrem muitos atrasos de liberações frente aos horários compartilhados (funcionário 9). Isso acaba gerando perdas de faixa (quando um trem acaba perde autorização para circulação/partida dado a um atraso na origem).	Operação
	Com as perdas de faixa precisamos realizar diariamente as liberações de trens que não estavam no plano de partida para não geramos um acúmulo de trens na origem.	Operação
<b>Funcionário 7</b>	Aproximadamente 35% dos trens precisam ser replanejados.	Operação

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Desta forma, com base nas informações apresentadas no quadro 11 e nas figuras 12 e 13, foi possível identificar que todas as atividades envolvendo o setor de planejamento se apresentam como fase crítica para o desenvolvimento do serviço, visto que 70% dos problemas apontados estão relacionados a esse setor. Nota-se também que 60% das ocorrências dos problemas apontados estão localizadas no setor operacional (terminal de origem), porém o CCO é o setor que sofre os maiores impactos quando esses erros ocorrem.

Levando em consideração a frequência de participação nos problemas e a criticidade destas atividades para o desenvolvimento do processo, delimitou-se como fase crítica do processo as atividades desenvolvidas pelo setor de planejamento, localizadas no terminal de origem, apresentadas na figura 14. As demais áreas do processo foram apenas envolvidas parcialmente, de acordo com a necessidade.

Figura 14 – Representação da delimitação da fase crítica construído a partir das entrevistas



Fonte: Autoria própria (2021)

#### 4.4 ANÁLISE DA SITUAÇÃO DELIMITADA

Depois de compreender o processo e identificar a fase mais crítica na etapa anterior, iniciou-se a etapa de validação e análise da fase crítica delimitada de maneira a analisar o seu fluxo de trabalho.

Em primeiro lugar, realizou-se uma reunião com os supervisores e analistas dos cinco setores (planejamento, operação do terminal de origem, CCO, operação do terminal de destino e rodoviário) para validação da fase crítica identificada anteriormente. Validou-se em conjunto que as análises estariam delimitadas nas atividades dos setores de planejamento e na sua interface com a operação e com o CCO. Posteriormente, apresentou-se a proposta de realização de entrevistas específicas com os grupos envolvidos nesta fase crítica para que fosse possível realizar a modelagem, análise e diagnóstico prévio da situação.

##### 4.4.1 Coletar dados junto ao grupo escolhido

Para que o grupo de funcionários envolvido na fase crítica pudesse compreender o objetivo do estudo, realizou-se, por intermédio da gerência, uma reunião para explicar os tipos de questões que seriam discutidas e qual seria o contexto.

Em seguida, conduziu-se as entrevistas visando coletar os dados dos envolvidos na fase crítica do processo, os quais iam compondo um fluxograma parcial, referente a interação da sua atividade em relação aos demais integrantes do grupo. Desta forma, elaborou-se o quadro 12 com algumas das informações coletadas junto ao grupo na fase delimitada e ao final, os fluxogramas parciais foram impressos e expostos.

**Quadro 12 – Terceira fase de perguntas para compreensão da fase crítica**

Entrevista 1	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 1	<b>Tarefa:</b> validar a demanda recebida do cliente com as premissas operacionais
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista Planejamento	
<b>Entradas:</b> Receber a demanda	<b>Saídas:</b> Demanda validada (premissas operacionais)
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> A demanda é recebida via cliente, elabora-se a validação com as premissas operacionais, considerando cadência de recebimento do produto no terminal, capacidade de armazenamento do produto, tempo de armazenamento do produto no terminal e a cadência de entrega do produto no cliente final.	
Dependências com outras pessoas e setores: funcionários 3 e 4	<b>Tempo médio de execução:</b> 16h

<b>Entrevista 2</b>	
<b>Responsável pela tarefa:</b> funcionário 2	<b>Tarefa:</b> validar a demanda recebida do cliente com as premissas ferroviárias
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista Planejamento	
<b>Entradas:</b> Demanda com as premissas operacionais validadas	<b>Saídas:</b> Demanda validada (premissas ferroviárias)
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> a demanda é recebida do funcionário 1, elabora-se a validação com as premissas de carregamento ferroviário, levando em consideração: data do carregamento ferroviário, qual trem o produto será carregado, qual será a data de chegada do produto no terminal ferroviário de destino. Posteriormente retorna-se com um ok no e-mail do cliente para que o mesmo possa entregar o produto no terminal ferroviário.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionários 1, 3 e 4.	<b>Tempo médio de execução:</b> 14h
<b>Entrevista 3</b>	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 3	<b>Tarefa:</b> recebimento do produto (portaria)
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de operação	
<b>Entradas:</b> Recebimento do produto (portaria)	<b>Saídas:</b> entrada do produto no pátio
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> recebe-se do funcionário 2 o planejamento de operacionalização da demanda via e-mail com todas as especificações de descarga, armazenamento e carregamento ferroviário dos produtos. Em paralelo o cliente começa a entregar os produtos no terminal ferroviário de acordo com a cadência informada pelos funcionários 1 e 2. Neste contexto o funcionário 3 confere a especificação dos produtos, registra em um checklist e entrega para o motorista e autoriza a entrada do caminhão no pátio/armazém	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionários 1 e 2.	<b>Tempo médio de execução:</b> 26h
<b>Entrevista 4</b>	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 8	<b>Tarefa:</b> Armazenar o produto no armazém
<b>Nível Hierárquico:</b> Assistente de pátio	
<b>Entradas:</b> Entrada do produto no pátio	<b>Saídas:</b> Produto armazenado no pátio/armazém
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> após a entrada rodoviária dos produtos no terminal, o funcionário 8 solicita ao motorista o checklist elaborado pelo funcionário 3. Posteriormente o funcionário 8 descarrega o produto de acordo com as informações incluídas no checklist (especificações de local, tipo de armazenamento para manter a qualidade de carga).	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionário 3	<b>Tempo médio de execução:</b> 30h
<b>Entrevista 5</b>	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 4	<b>Tarefa:</b> anotar as informações do produto em um checklist (quantidade recebida, qualidade do produto, avarias)
<b>Nível Hierárquico:</b> Assistente de pátio	
<b>Entradas:</b> produto armazenado no pátio ferroviário	<b>Saídas:</b> informações anotadas em um checklist
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> após o armazenamento do produto no pátio, o Funcionário 4 anota as informações do produto em um checklist (quantidade recebida, qualidade do produto, avarias)	
<b>Dependências:</b> Funcionário 8	<b>Tempo médio de execução:</b> 6h

Entrevista 6	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 3	<b>Tarefa:</b> lançamento das informações de recebimento do produto no sistema
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de operação	
<b>Entradas:</b> informações anotadas em um checklist	<b>Saídas:</b> lançamento das informações de recebimento do produto no sistema
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> após o armazenamento do produto no pátio, o Funcionário 3 recebe do funcionário 4 uma folha para lançamento das informações do produto no sistema. Essas informações são lançadas para que possam gerar uma Ordem de transporte Ferroviária do Produto (OTF).	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionário 4	<b>Tempo médio de execução:</b> 2h
Entrevista 7	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 5	<b>Tarefa:</b> Emissão de uma Ordem de Transporte Ferroviária do produto
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de operação	
<b>Entradas:</b> lançamento das informações de recebimento do produto no sistema	<b>Saídas:</b> emissão de uma ordem de transporte ferroviária do produto.
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> depois do lançamento das informações em sistema realizado pelo funcionário 3, o funcionário 5 fica responsável por emitir uma OTF do produto uma vez que estão lançadas em sistema e em conformidade com as premissas operacionais	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionário 3.	<b>Tempo médio de execução:</b> 1h
Entrevista 8	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 1	<b>Tarefa:</b> Validação da OTF do produto
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de planejamento	
<b>Entradas:</b> ordem de transporte do produto emitida	<b>Saídas:</b> OTF do produto validada
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> valida-se a OTF do produto para autorização para carregamento ferroviário. Nessa etapa analisa-se as observações incluídas na OTF do produto. Essas observações trazem um detalhamento da qualidade do produto.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionários 2, 3 e 5.	<b>Tempo médio de execução:</b> 0,5h
Entrevista 9	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 5	<b>Tarefa:</b> Elaboração da lista de carregamento do produto para alocação no trem.
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de operação	
<b>Entradas:</b> ordem de transporte do produto validada	<b>Saídas:</b> elaboração da lista de carregamento do produto
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> elabora-se uma lista de carregamento ferroviária do produto seguindo as premissas ferroviárias acordadas no plano.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionário 1, 2.	<b>Tempo médio de execução:</b> 2h

Entrevista 10	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 6	<b>Tarefa:</b> Distribuição da lista de carregamento
<b>Nível Hierárquico:</b> Assistente de operação	
<b>Entradas:</b> Recebimento da lista de carregamento	<b>Saídas:</b> Distribuição da lista de carregamento
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> o funcionário 6 recebe do funcionário 5 a lista de carregamento, então imprime e distribui para o funcionário 9 para início do carregamento ferroviário.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> funcionários 5 e 9.	<b>Tempo médio de execução:</b> 3h
Entrevista 11	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 9	<b>Tarefa:</b> Execução do carregamento dos produtos
<b>Nível Hierárquico:</b> Assistente de pátio	
<b>Entradas:</b> Recebimento da lista de carregamento	<b>Saídas:</b> Produtos carregados/trem liberado
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> inicia-se a execução do carregamento ferroviário dos produtos, uma vez que o funcionário 9 já está com a lista de carregamento em mãos. Por meio da lista, o funcionário 9 auxilia os operadores a carregar os produtos no trem de acordo com as premissas incluídas na lista.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionários 6 e 2.	<b>Tempo médio de execução:</b> 18h
Entrevista 12	
<b>Responsável pela tarefa:</b> Funcionário 7	<b>Tarefa:</b> saída do trem
<b>Nível Hierárquico:</b> Analista de circulação	
<b>Entradas:</b> produtos carregados/trem liberado	<b>Saídas:</b> trem com circulação liberada
<b>Descrição da tarefa efetivas e comentários abertos:</b> após receber a liberação para tração do trem, o funcionário 7 autoriza a circulação do trem para o terminal de destino.	
<b>Dependências com outras pessoas e setores:</b> Funcionário 2 e 6.	<b>Tempo médio de execução:</b> 1h

**Fonte: Aatoria própria (2021)**

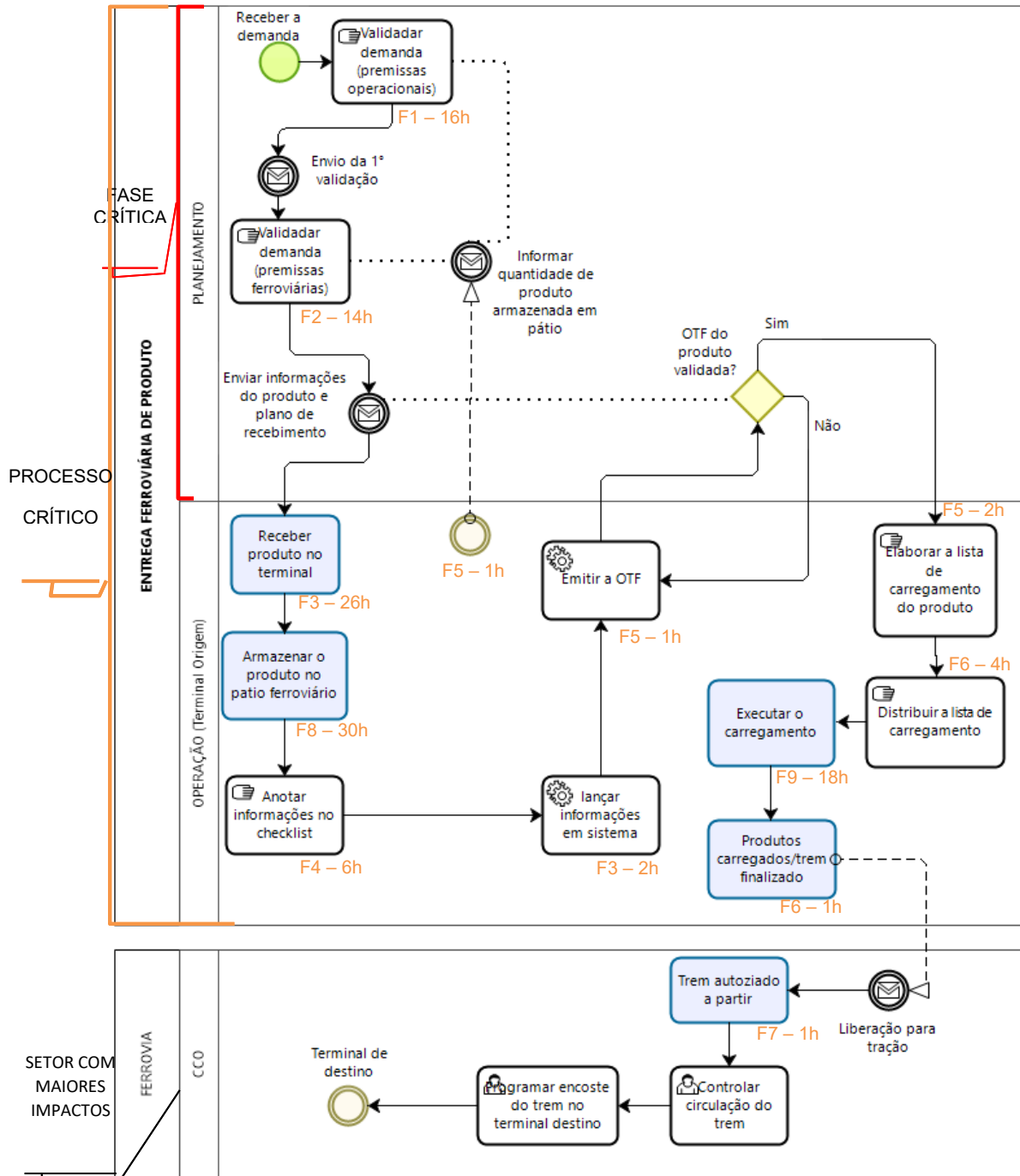
Com os dados coletados acima, foi possível elaborar um fluxograma geral com todas as interações do processo e um fluxograma detalhado do fluxo de comunicação da fase crítica delimitada, representada no próximo item.

#### 4.4.2 Modelar e validar o modelo do processo de trabalho

Com base nas informações coletadas no quadro 11, modelou-se por meio do *Software Bizagi* o processo crítico delimitado, a fase crítica dentro deste processo e o setor que sofre maior impacto frente aos problemas apresentados. Essa modelagem

apresentada na figura 15 foi desenvolvida de maneira colaborativa, com a ajuda de todos os entrevistados, visando ajustar todas as conexões para que fossem uma representação fiel das interações do processo real.

**Figura 15 – Representação do fluxograma geral construído a partir das entrevistas**



Fonte: Autoria própria (2021)

À medida que o fluxograma apresentado na figura 15 foi sendo modelado, validações com os funcionários envolvidos neste processo foram ocorrendo de

maneira simultânea. Uma vez que todos concordaram com a sequência das atividades e o fluxo de informação representado no modelo, o mesmo foi considerado “validado”.

Para preservar a imagem dos envolvidos no processo, utilizou-se abreviações e representações numéricas para representar a execução de determinadas atividades (F1 = Funcionário 1, F2 = funcionário 2).

#### 4.4.3 Analisar o modelo

Com o modelo validado, iniciou-se a fase de análise. Levantou-se uma média de processamento de cada serviço, por cada agente envolvido no fluxo de informação e, em paralelo, realizou-se uma análise do caminho crítico do processo para saber quais atividades tinham algum tipo de dependência e quais poderiam ser executadas em paralelo. Por meio da análise, foi possível contabilizar o total de horas das atividades críticas (atividade M), as quais totalizaram 119,5 horas, considerando o momento inicial de validação de transporte do produto, até o momento em que o trem é liberado para a circulação para o terminal de destino, apresentadas no quadro 13.

**Quadro 13 – Caminho crítico do processo delimitado**

Identificação	Atividades	Duração (horas)	Dependências	Caminho crítico
A	Validar demanda (premissas operacionais)	16h	-	
B	Validar demanda (premissas ferroviárias)	14h	-	
C	Recebimento do produto	26h	A,B	30h
D	Armazenamento do produto no pátio ferroviário	30h	A,B,C	56h
E	Registrar as informações no checklist	6h	C,D	36h
F	Lançar informações em sistema	2h	E	6h
G	Emitir OTF	1h	E,F	8h
H	Validar OTF	0,5h	E,F,G	9h
I	Elaboração da lista de carregamento	2h	A,B,C,D,E,F,G,H	95,5h
J	Distribuição da lista de carregamento	4h	I	2h
L	Execução do carregamento	18h	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J	101,5h
M	Liberar o trem	1h	A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,L	<b>119,5h</b>

**Fonte: Autoria própria (2021)**

De acordo com o quadro 13, identificou-se que as duas atividades iniciais A e B eram atividades independentes, ou seja, atividades que poderiam iniciar a qualquer momento no processo sem interdependência das outras atividades. Em paralelo,



identificou-se que as atividades C, D, E, F, G, H, I, J eram atividades interdependentes, ou sejam, dependiam de algumas atividades do processo para que pudessem ser executadas. Por fim, identificou-se que as atividades L, M eram atividades dependentes, ou seja, necessitavam da execução de todas as atividades do processo para que pudessem ser desenvolvidas. Nesse contexto, identificou-se que a atividade que poderia influenciar diretamente a entrega do produto frente ao tempo total de entrega do pedido estava na etapa de liberação do trem, a qual dependia da execução de todas as atividades da fase crítica e do processo crítico. Porém, constatou-se, no momento das entrevistas (quadro 12), que os funcionários não tinham o entendimento do impacto do atraso da entrega da execução da sua atividade perante o prazo de entrega do produto, gerando atrasos por falta de priorização do serviço.

Em paralelo, analisando a interação dos agentes da fase crítica com os demais agentes do processo, identificou-se por meio da análise do fluxograma apresentado na figura 15, um baixo nível de automatização das atividades executadas pelos funcionários 1 e 2 e com os demais funcionários do processo (funcionários 3,8 e 9), visto que o fluxo de comunicação ocorre em grande parte através de e-mails e planilhas do Excel. Por conta disto, ocorre, com grande frequência, problemas de comunicação, excesso de e-mails, informações perdidas, retornos atrasados e um alto tempo de processamento de alguns serviços.

Neste contexto, o tópico 4.4.4 apresentará o agrupamento dos problemas identificados nesta etapa e nas etapas anteriores, com seus possíveis impactos qualitativos em relação ao andamento do processo.

#### 4.4.4 Correlação dos problemas e respectivas causas

Nesta fase, em um primeiro momento foi realizando um agrupamento e um refinamento dos problemas constatados ao longo do estudo e após o processo de modelagem, de acordo com o quadro 14.

**Quadro 14 – Problemas constatados durante o desenvolvimento do estudo**

<b>Problemas Identificados</b>	<b>Impactos previstos</b>	<b>Criticidade</b>	<b>Efeito crítico</b>
Validações e alterações das entregas dos produtos são montadas via Excel e compartilhados via e-mail pelos funcionários 1 e 2.	a) Atrasos no recebimento de informação por parte dos funcionários 3,4 e 5, b) informações perdidas, c) excesso de e-mails, d) carregar um produto em trem com premissas desatualizadas, e) retrabalho no momento de carregamento do trem	A	Afeta diretamente a confiabilidade e a eficiência da operação.
Informações dos pedidos centralizadas em planilhas de Excel nos computadores dos funcionários 1 e 2.	A) Informações centralizadas, b) perdas de informações caso ocorra algum defeito no computador.	C	Não afeta de imediato a execução das atividades nos demais setores do processo.
Falta de inclusão dos funcionários 3,4 e 5 no momento em que os funcionários 1 e 2 realizam o planejamento da entrega dos produtos.	a) Erros na validação das premissas operacionais, b) alto tempo de processamento dos serviços, visto que os funcionários não conseguem se organizar com antecedência para realizar a operacionalização daquela demanda.	A	Influência diretamente nas atividades da operação e na qualidade de prestação do serviço.
Informações para recebimento dos produtos são enviadas inteiramente via e-mail pelos funcionários 1 e 2 para o funcionário 3.	a) Informações perdidas, b) falta de entendimento das especificações do produto que os funcionários estão recebendo, caso não leiam os e-mails.	C	Não afeta de imediato a execução das atividades do funcionário 3 e o andamento do processo.
Funcionário 3 precisa realizar uma conferência manual das informações contidas nos e-mails repassadas pelos funcionários 1 e 2 com a numeração dos lotes que o mesmo está recebendo no momento de receber os produtos no terminal.	a) Alto tempo de execução da atividade, b) alto tempo para receber cada caminhão no pátio ferroviário, c) retrabalhos nas atividades, d) redução da confiabilidade do processo.	A	Veículos irão ficar travados na portaria, gerando um desgaste com o cliente e paralisando momentaneamente o processo.

<b>Problemas Identificados</b>	<b>Impactos previstos</b>	<b>Criticidade</b>	<b>Efeito crítico</b>
Após o armazenamento dos produtos no pátio ferroviário, o funcionário 4 precisa anotar em um checklist algumas informações dos produtos recebidos para lançar em sistema posteriormente.	a) Retrabalhos e erros de input, b) perdas do checklist, c) alto tempo para execução da atividade.	C	Não afeta de imediato a execução das atividades do funcionário 4 e o andamento do processo.
Funcionário 5 precisa procurar nos e-mails as premissas enviadas pelos funcionários 1 e 2 para elaborar a lista de carregamento ferroviária.	a) Informações perdidas, b) buscas constantes nos e-mails, c) excesso de e-mails.	B	Afeta diretamente a eficiência da operação.
Funcionário 5 precisa conferir diariamente a quantidade de produtos em estoque no pátio ferroviário e enviar um e-mail com essas informações para os funcionários 1 e 2.	a) Informações perdidas, b) buscas constantes nos e-mails, c) excesso de e-mails, d) informações tardias.	C	Não afeta de imediato a execução das atividades dos funcionários 1 e 2 e o andamento do processo.
Atrasos na execução do carregamento ferroviário.	a) Replanejamento das partidas dos trens, b) perdas de faixa (autorização) para partidas, c) perda da eficiência do ciclo do trem, visto que o mesmo precisará aguardar uma nova liberação, d) atrasos na entrega do produto no terminal de destino.	A	Afeta diretamente a circulação de trens e o prazo de entrega do produto.
Falta de entendimento dos prazos de execução das atividades.	a) falta de priorização, gerando a atrasos desnecessários.	A	Afeta o processo como um todo e o prazo de entrega do produto.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

De acordo com o quadro 14, classificou-se os problemas em uma escala de criticidade que vai do A ao C. O grau A indica que o problema possui grande impacto no processo e efeitos no curto prazo, o grau B indica que o problema possui impacto médio e efeitos no médio prazo e problemas com grau C indica que o problema possui baixo impacto no processo e efeitos pouco significativos. Para correlacionar todos os problemas identificados no quadro 14 com suas respectivas causas identificadas no

processo de análise desta fase crítica, aplicou-se o diagrama de Ishikawa para cada problema identificado, classificando as causas em tecnologia, método, layout, e mão de obra, adaptando o Ishikawa ao cenário que os problemas estavam inseridos. Neste contexto, apresenta-se o resultado desta aplicação de maneira simplificada no quadro 15.

**Quadro 15 – Problemas identificados no processo de entrega e algumas de suas causas**

Identificação	Diagrama de Ishikawa		
	Problema	Causa	Detalhamento
<b>Problema 1</b>	Validações e alterações das entregas dos produtos são montadas via Excel e compartilhados via e-mail pelos funcionários 1 e 2	Tecnologia	Falta de ERP para gerenciamento da informação.
		Método	Formato (Excel/e-mail) em que as validações e alterações são realizadas pelo funcionário 1 e 2.
<b>Problema 2</b>	Informações dos pedidos centralizadas em planilhas de Excel nos computadores dos funcionários 1 e 2	Tecnologia	Falta de software/sistema para integração de informação entre os funcionários.
		Método	Formato em que os funcionários 1 e 2 armazenam as informações nos computadores; deixando-as centralizadas.
<b>Problema 3</b>	Falta de inclusão dos demais funcionários no momento em que os funcionários 1 e 2 realizam o planejamento da entrega dos produtos	Método	Formato em que o planejamento é realizado/validado.
<b>Problema 4</b>	As informações para recebimento dos produtos são enviadas inteiramente via e-mail pelos funcionários 1 e 2	Tecnologia	Falta de software/sistema para integração de informação entre os funcionários.
		Método	Formato em que o funcionário 1 e 2 compartilha informações com os demais setores.

Identificação	Diagrama de Ishikawa		
	Problema	Causa	Detalhamento
<b>Problema 5</b>	Funcionário 3 precisa realizar uma conferência manual das informações contidas nos e-mails repassadas pelos funcionários 1 e 2 com a numeração dos lotes que o mesmo está recebendo no momento de receber os produtos no terminal	Método	Formato em que o processo foi estabelecido, no qual o funcionário 3 precisa receber informações via e-mail para realizar as comparações.
		Tecnologia	Ausência de um sistema de identificação automática dos produtos carregados nos veículos.
<b>Problema 6</b>	Após o armazenamento dos produtos no pátio ferroviário, o funcionário 4 precisa anotar em um checklist algumas informações dos produtos recebidos para lançar em sistema posteriormente	Tecnologia	Ausência de um software para automatização da informação
<b>Problema 7</b>	Funcionário 5 precisa procurar nos e-mails as premissas enviadas pelos funcionários 1 e 2 para elaborar a lista de carregamento ferroviária	Tecnologia	Ausência de um software para automatização da informação
		Método	Formato em que os funcionários 1 e 2 compartilham as premissas
<b>Problema 8</b>	Funcionário 5 precisa conferir diariamente a quantidade de produtos em estoque no pátio ferroviário e enviar um e-mail com essas informações para os funcionários 1 e 2.	Tecnologia	Ausência de um software para automatização da informação
<b>Problema 9</b>	Atrasos na execução do carregamento ferroviário	Layout	Localização dos produtos no pátio ferroviário
		Método	Excesso de documentos (várias listas de carregamento na mão do funcionário).
		Tecnologia	Ausência de um sistema ERP para integração das informações da lista de carregamento.

Identificação	Diagrama de Ishikawa		
	Problema	Causa	Detalhamento
<b>Problema 10</b>	Falta de entendimento dos prazos de execução das atividades	Mão de Obra	Falta de treinamento para conhecimento do processo como um todo.

Fonte: Autoria própria (2021)

Essa etapa de correlação dos problemas com a suas possíveis causas (quadro 15) se baseou nas informações coletadas durante as entrevistas, na experiência dos funcionários envolvidos na fase crítica (incluindo a experiência dos supervisores) e no conhecimento técnico do analista responsável pela aplicação do método. Constatase, com os dados mostrados no quadro 15, que os problemas mais críticos estão relacionados aos fluxos de informação, que se agravam em função do baixo grau de automatização e tecnologia dos processos.

#### 4.4.5 Identificar oportunidades para corrigir e melhorar o desempenho da fase estudada

Com base nas constatações levantadas na etapa anterior, buscou-se corrigir os problemas mencionados e, em paralelo, apontar oportunidades de melhoria na execução das atividades, indicando possíveis pontos de automatização, visando acelerar o processo de comunicação vertical e horizontal da organização. Esse processo de correção e melhoria das causas identificadas se estabeleceu de maneira colaborativa com todos os funcionários e supervisores envolvidos nas fases críticas. Nesse processo de correção e melhoria, o analista responsável pela condução do estudo sugeriu as seguintes ações, conforme mostrado no Quadro 16.

**Quadro 16 – Correlação dos problemas e das sugestões de correção x melhoria x automatização**

ID	Problemas	Sugestão para correção	Sugestão de melhoria	Sugestão de automatização
<b>Problema 1</b>	Validações e alterações das entregas dos produtos são montadas via Excel e compartilhados via e-mail pelos funcionários 1 e 2.		Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das validações e alterações das entregas.	Utilização de software para automatização do sistema de informação e planejamento da empresa (ERP).
<b>Problema 2</b>	Informações das entregas centralizadas em planilhas de Excel nos computadores dos funcionários 1 e 2.	Utilizar sistema de compartilhamento de documentos em nuvem; compartilhar diretório da pasta de rede com os demais envolvidos no processo.	Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das entregas.	Utilização de software para automatização do sistema de informação e planejamento da empresa (ERP).
<b>Problema 3</b>	Falta de inclusão dos demais funcionários no momento em que os funcionários 1 e 2 realizam o planejamento da entrega dos produtos.	Realizar 1 reunião por dia com duração máxima de 15 min por meio de software de vídeo conferencia, com um representante dos setores envolvidos no processo de entrega do produto, para compartilhar o plano de operacionalização da demanda, para que os mesmos tenham ciência das novas entregas que estão sendo aceitas e possam participar do processo das validações.		
<b>Problema 4</b>	Informações para recebimento dos produtos são enviadas via e-mail pelos funcionários 1 e 2.		Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das entregas.	Utilização de software para automatização do sistema de informação e planejamento da empresa (ERP).

ID	Problemas	Sugestão para correção	Sugestão de melhoria	Sugestão de automatização
<b>Problema 5</b>	Funcionário 3 precisa realizar uma conferência manual das informações contidas nos e-mails repassadas pelos funcionários 1 e 2 com a numeração dos lotes que o mesmo está recebendo no momento de receber os produtos no terminal.	Estabelecer dias específicos e janelas específicas de recebimento para a descarga de lote completo do mesmo produto, evitando assim a conferência manual para identificar qual lote está descarregando no terminal.		Utilização de tecnologia IoT integrado com CPS para automatizar a etapa de recebimento dos produtos no terminal. Neste contexto, utiliza-se sensores nos caminhões para que os mesmos possam ser codificados e identificados. Posteriormente instala-se na portaria leitores OCR (Reconhecimento Óptico de Caracteres) para converter imagens em dados, realizando assim o recebimento de maneira automática por meio da automação. Todo esse processo é gerenciado por um aplicativo denominado "TRIZY".
<b>Problema 6</b>	Após o armazenamento dos produtos no pátio ferroviário, o funcionário 4 precisa anotar em um checklist algumas informações dos produtos recebidos para lançar em sistema posteriormente			Utilização de leitor de ondas infravermelho para leitura dos códigos de barra dos lotes dos produtos, conectado por um sistema IoT de maneira a transferir as informações de maneira simultânea para sistema interno da empresa.



ID	Problemas	Sugestão para correção	Sugestão de melhoria	Sugestão de automatização
<b>Problema 7</b>	Funcionário 5 precisa procurar nos e-mails as premissas enviadas pelos funcionários 1 e 2 para elaborar a lista de carregamento ferroviária.	Padronizar uma pasta na nuvem e centralizar todas as informações dos pedidos nela; compartilhar o diretório desta pasta com os demais setores envolvidos.	Utilização de sistema Kanban online, no qual terá todas as informações daquela entrega (validação, alteração, premissas).	Utilização de software para automatização do sistema de informação e planejamento da empresa (ERP).
<b>Problema 8</b>	Funcionário 5 precisa conferir diariamente a quantidade de produtos em estoque no pátio ferroviário e enviar um e-mail com essas informações para os funcionários 1 e 2.		Eliminar o envio do e-mail e compartilhar o estoque diretamente no kanban	Utilização da CPS para automatizar o monitoramento e o compartilhamento de informações, através de um sensor ultrassônico, responsável por transmitir os níveis de estoque direto para o sistema interno da organização, servindo de apoio também para o aceite de novas demandas de acordo com o espaço físico do pátio.
<b>Problema 9</b>	Atrasos na execução do carregamento ferroviário.	Preparar os produtos fisicamente no armazém de maneira a facilitar o carregamento ferroviário.	Separar os produtos no armazém por data de carregamento no trens, de maneira a facilitar o processo de carregamento.	
<b>Problema 10</b>	Falta de entendimento dos prazos de execução das atividades.	Reciclagem com todos os funcionários apresentando o SLA de cada atividade para cumprimento do prazo final.		

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Por conta da disponibilidade de recursos e tempo para o desenvolvimento do trabalho, foram apresentadas no quadro 16 soluções economicamente viáveis para a empresa na qual não dependia de altos recursos financeiros e materiais.

#### 4.4.6 Modelar sugestões para a nova configuração da fase estudada

Levando em consideração o cenário mencionado no tópico anterior (quadro 16), apresenta-se no quadro 17 a validação da nova modelagem das sugestões de correção da fase estudada, levando em consideração a quantidade de recursos financeiros disponíveis em caixa e o tempo para desenvolvimento da pesquisa. O custo estimado para corrigir o problema 9 refere-se aos valores médio de movimentação das empilhadeiras para separar os produtos, visto que o custo do combustível das máquinas não pode ser estimado. Quanto ao custo para a correção do problema 10, refere-se ao custo homem/hora para ministrar o treinamento com os funcionários.

**Quadro 17 – Validação das sugestões de correção, melhoria e automatização**

<b>ID</b>	<b>Sugestão para correção validada</b>	<b>Custo Estimado</b>	<b>Tempo estimado implantação (horas)</b>
<b>Problema 2</b>	Utilizar sistema de compartilhamento de documentos em nuvem; compartilhar diretório da pasta de rede com os demais envolvidos no processo.	R\$0,00	6h
<b>Problema 3</b>	Realizar 1 reunião por dia com duração máxima de 15 min por meio de software de vídeo conferencia, com um representante dos setores envolvidos no processo de entrega do produto, para compartilhar o plano de operacionalização da demanda, para que os mesmos tenham ciência das novas entregas que estão sendo aceitas e possam participar do processo das validações.	R\$0,00	1h
<b>Problema 5</b>	Estabelecer dias específicos e janelas específicas de recebimento para a descarga de lote completo do mesmo produto, evitando assim a conferência manual para identificar qual lote está descarregando no terminal.	R\$0,00	3h
<b>Problema 7</b>	Padronizar uma pasta na nuvem e centralizar todas as informações dos pedidos nela; compartilhar o diretório desta pasta com os demais setores envolvidos.	R\$0,00	2h

ID	Sugestão para correção validada	Custo Estimado	Tempo estimado implantação (horas)
<b>Problema 9</b>	Preparar os produtos fisicamente no armazém de maneira a facilitar o carregamento ferroviário.	R\$210,00	3h
<b>Problema 10</b>	Reciclagem com todos os funcionários apresentando o SLA de cada atividade	R\$14,00	1h

**Fonte: Autoria própria (2021)**

De maneira geral, todas as sugestões para correção (quadro 17) foram aprovadas e implantadas e todas as melhorias foram validadas (quadro 18), visto que não demandavam altos recursos financeiros ou tempo de implantação. Neste contexto, apresenta-se no quadro 18 as melhorias validadas e os possíveis impactos previstos, considerando todas as correções e melhorias.

**Quadro 18 – Sugestões de melhoria pós correção**

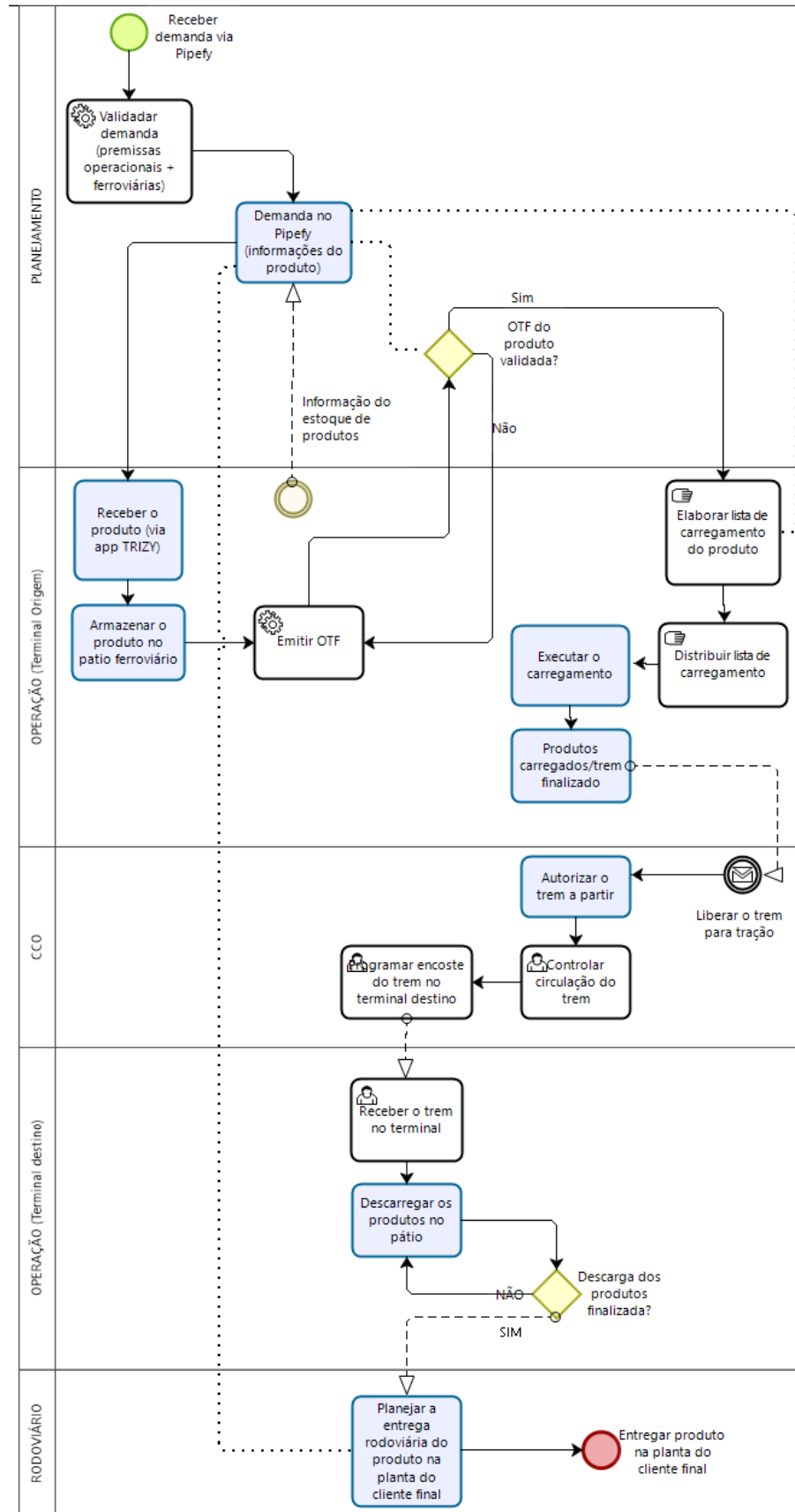
ID	Sugestão de melhoria	Custo estimado melhoria	Impacto previsto após melhoria
<b>Problema 1</b>	Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das validações e alterações das entregas.	R\$ 680/mês	Aumento da velocidade do fluxo de informação relacionadas as entregas, aumentando a confiabilidade e eficiência da operação.
<b>Problema 2</b>	Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das entregas		Aumento da velocidade do fluxo de informação. Descentralização das informações.
<b>Problema 4</b>	Utilização de sistema Kanban online para compartilhamento das entregas.		Aumento da velocidade do fluxo de informação de informações.)
<b>Problema 7</b>	Utilização de sistema Kanban online, no qual terá todas as informações daquela entrega (validação, alteração, premissas).		Aumento da eficiência da operação, redução no tempo de elaboração da lista.

ID	Sugestão de melhoria	Custo estimado melhoria	Impacto previsto pós melhoria
<b>Problema 9</b>	Separar os produtos no armazém por data de carregamento no trens, de maneira a facilitar o processo de carregamento.		Aumento da quantidade de trens circulando, redução do número de replanejamento, redução no ciclo total de entrega.

**Fonte: Autoria própria (2021)**

As etapas de automatização das soluções identificadas nos problemas 1,2,4 e 7 ficaram em *standy-by* por conta da disponibilidade de recursos e o tempo para o desenvolvimento e implantação de um sistema ERP. Nesse contexto, aprovou-se as sugestões de automação apresentadas no quadro 16 para a modernização das soluções identificadas nos problemas 5 e 8. Posteriormente, realizou-se uma nova modelagem do novo processo, considerando todas as modificações apontadas e validadas pela empresa, apresentadas na figura 16.

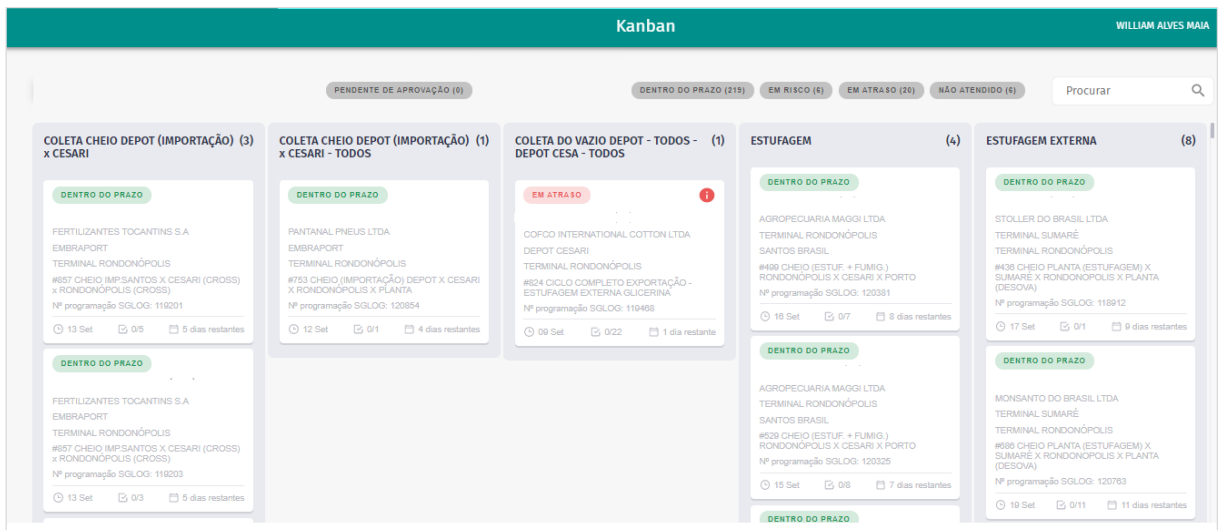
Figura 16 – Modelagem das sugestões levantadas na fase anterior



Fonte: Autoria própria (2021)

A principal alteração na figura 16, em relação à configuração antiga do processo, está na utilização do sistema Kanban online, eliminando a grande troca de e-mails do fluxo antigo. Nesse contexto, o cliente compartilha a demanda com a empresa de maneira simultânea, por meio de um sistema online. Essa mesma demanda é validada e compartilhada com os demais setores de maneira integrada, totalmente online, de acordo com a figura 17.

**Figura 17 – Representação utilização do Kanban online como melhoria no fluxo de informação**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

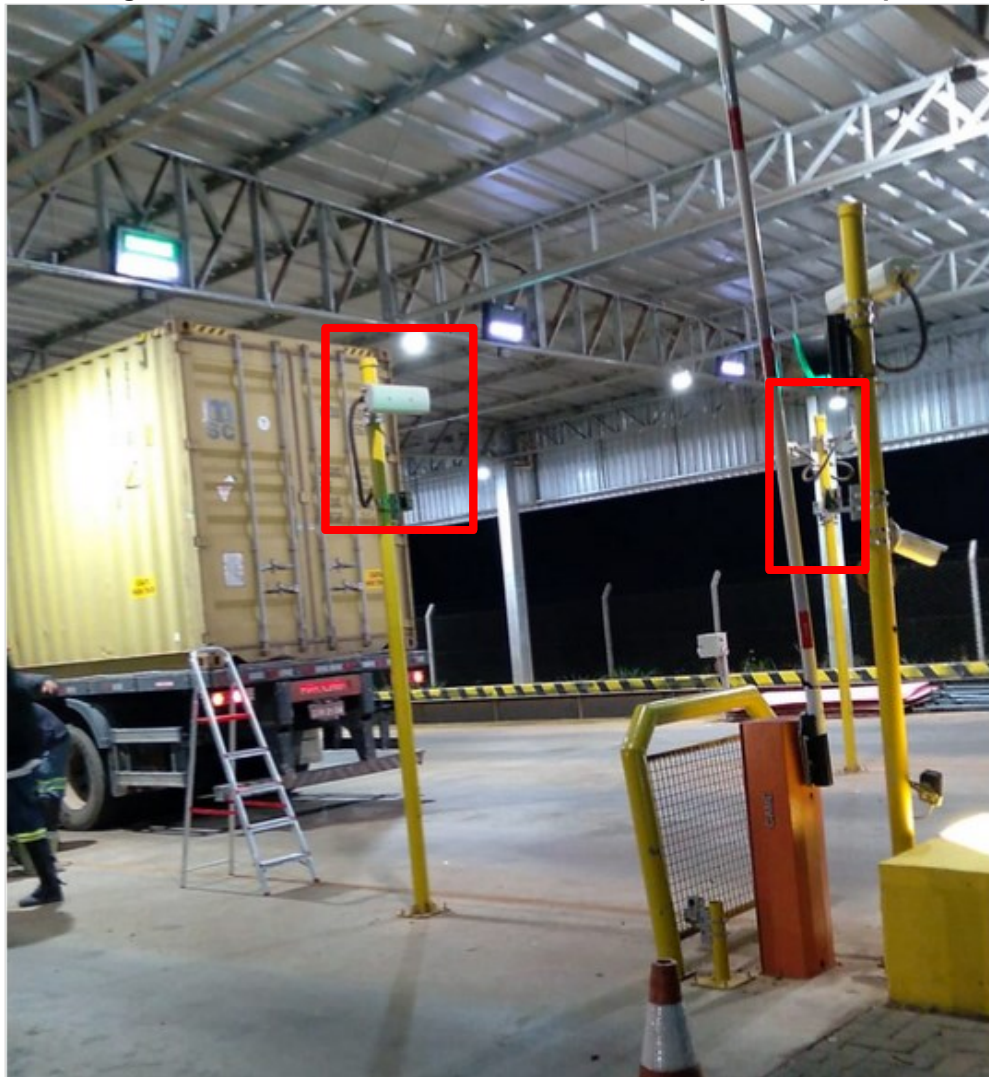
Analisando a figura 17, observa-se que cada *card* representa um processo de entrega de produtos que será inserida pelo cliente, validada e aprovada pelo setor de planejamento, com a participação de um representante dos demais setores envolvidos e, posteriormente, compartilhada internamente com todos os demais agentes do processo. Caso ocorra alguma alteração em alguma entrega, os *cards* podem ser atualizados por meio de qualquer dispositivo com acesso a conexão com internet, disparando um alerta sonoro ou visual para os agentes conectados naquela atividade. As informações dos cards ficam disponíveis para os demais envolvidos no processo a qualquer momento, integrando assim o fluxo de informação.

As demais correções e melhorias não foram descritas na figura 16 por se tratarem de alterações no formato de executar as atividades, porém foram apresentadas nos quadros 17 e 18.

Quanto às sugestões de automatização do processo, considerando a disponibilidade de recursos, pessoas e tempo para o desenvolvimento do estudo,

duas sugestões viáveis para a empresa na modernização do sistema. A primeira sugestão foi a utilização da inteligência artificial (IoT integrado com CPS) para automatizar a etapa de recebimento dos produtos no terminal. Neste contexto, foi sugerida a instalação de sensores nos caminhões para que os mesmos pudessem ser codificados e identificados. Posteriormente, foi sugerido a instalação de leitores OCR (Reconhecimento Óptico de Caracteres) na portaria para identificar as placas e converter essa mensagem em dados que, integrados aos sensores instalados nos caminhões, se transformam em informação para que o processo de recebimento de produtos ocorra de maneira automática por meio da automação. Todo esse processo é gerenciado por um aplicativo denominado “TRIZY”. A figura 18 apresenta a finalização da instalação dos 2 leitores na entrada secundária da empresa.

**Figura 18 – Instalação teste de leitores OCR na portaria da empresa**

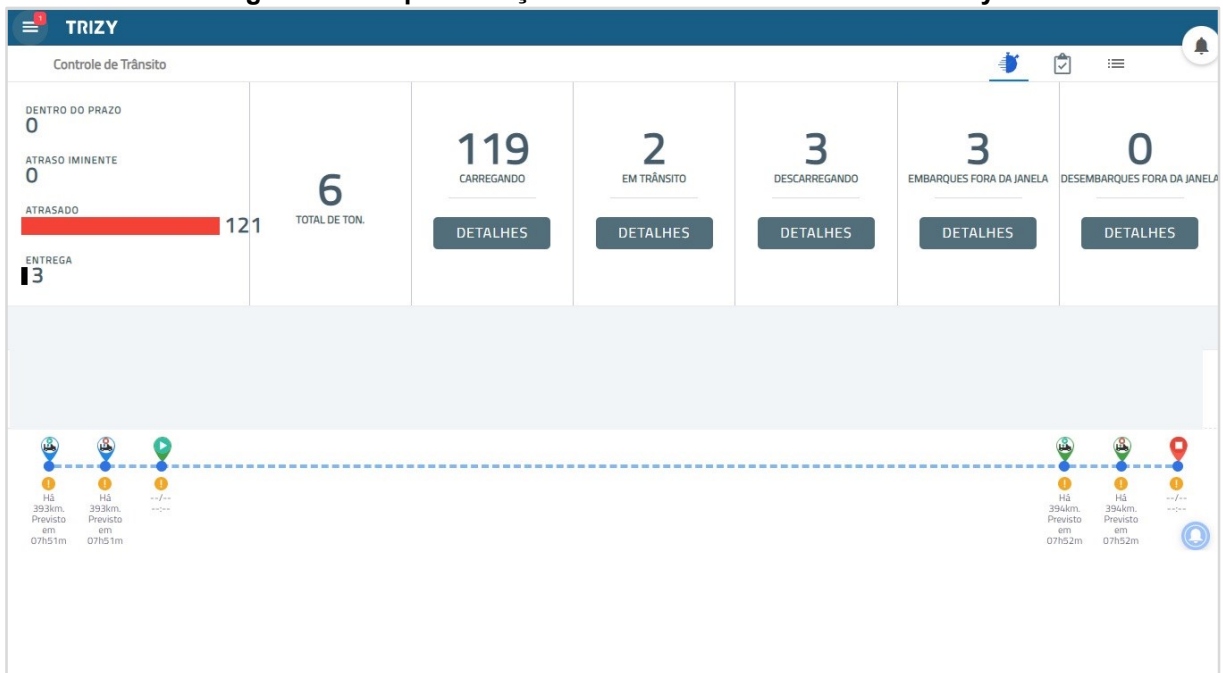


**Fonte: Autoria própria (2021)**

Os sensores representados na figura 18 enviam um sinal para uma base de dados, que irá se comunicar diretamente com o TRIZY. A empresa já utiliza o aplicativo (TRIZY), porém o mesmo possui a única função de controlar a frota de veículos. Nesse contexto, sugeri uma adaptação simples do aplicativo para receber as entradas enviada pela base de dados, apresentando: a) quantidade de veículos carregados com os produtos, b) localização dos veículos, c) situação de recebimento dos veículos carregados e por fim, d) veículos em atraso. A Trizy é a empresa que oferece aplicativos para conectar quem precisa transportar a quem realiza o transporte, otimizando a gestão logística através de tecnologia e inovação na plataforma ou no aplicativo.

O primeiro esboço representando o dashboard foi representado na figura 19, o qual foi validado pela empresa para utilização teste no processo.

**Figura 19 – Representação da tela de monitoramento do trizy**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

No modelo apresentado na figura 19, identifica-se as informações obrigatórias para controle do recebimento dos produtos no terminal, oferecendo um dashboard para o funcionário controlar todo o processo de maneira automatizada, identificando também a localização dos veículos.

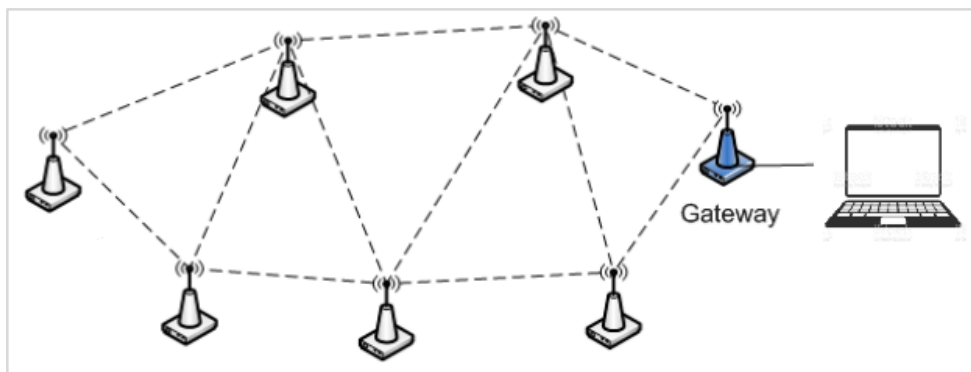
A última sugestão de automatização validada pela empresa foi a utilização do CPS, automatizando o monitoramento por meio de um sensor ultrassônico,



automatizando também o compartilhamento de informação por meio da inteligência artificial, direcionando a tomada de decisão no aceite de novas demandas (tirando como parâmetro o espaço físico do armazém). O sensor mede a distância do local de armazenamento dos produtos, emitindo um pulso ultrassônico com o nível de estoque; esse sinal é enviado para um gateway (base de dados), que transmite esses dados para um sistema interno da empresa. Esse sistema, por meio de inteligência artificial pré-configurada (algoritmos), processa esses dados, interpretando e emitindo uma mensagem para os analistas de planejamento, direcionando sobre a decisão a tomar, de acordo com a situação atual dos estoques.

O gateway será o equipamento responsável por fazer a interface entre o sensor e a inteligência artificial, viabilizando que os dados coletados sejam armazenados em uma base de dados para serem, posteriormente, tratados por algoritmos específicos e visualizados na tela de um computador, de acordo com a figura 20.

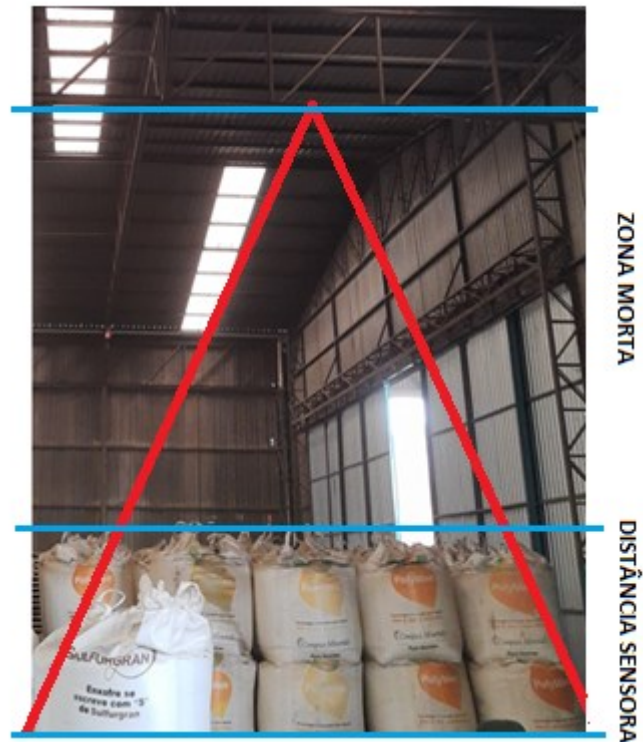
**Figura 20 – Estrutura da comunicação dos sensores ultrassônicos**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Tendo como base a representação visual da figura 20, instalou-se um sensor teste no teto do armazém, representado na figura 21.

**Figura 21 – Representação do range de alcance do sensor**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

De acordo com a figura 21, nota-se que as pilhas de produtos possuem limitação máxima de 2 níveis por produto, de acordo com a premissa padrão estabelecida pela empresa. Neste cenário, configurou-se a faixa de detecção do sensor para essa altura (distância sensora). Entretanto, o sistema ignora uma parte do lote quando o mesmo está na ‘zona morta’, a qual se refere ao local onde não ocorre mensuração e, portanto, é nula de monitoramento, porém, não interferindo na informação, dado padronização da altura dos produtos. Desta forma, por meio do sensor, da base de dados e do processamento inteligente do algoritmo, o sistema envia uma mensagem para o funcionário para auxiliá-lo em qual decisão tomar frente ao recebimento de novos produtos.

#### 4.4.7 Nova configuração do trabalho

Como modelo teste da nova configuração, estabeleceu-se entre analista (responsável pelo estudo), supervisores e gerente, a adaptação do processo para atender até 6 pedidos nessa configuração, visando coletar resultados e compará-los com os indicadores levantados no início do estudo, o que permitiria mensurar o ganho com as ações tomadas. O quadro 19 mostra os indicadores finais e os indicadores

levantados no início do estudo, considerando a implantação das ações validadas pela empresa no novo modelo sugerido (figura 16).

**Quadro 19 – Comparação dos indicadores iniciais e finais**

<b>COD</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador Inicial</b>	<b>Indicador Final</b>	<b>Delta</b>
Q1	Número de lotes entregues no Prazo negociado	4	6	100% dos pedidos atendidos e uma melhoria de 67% em relação ao indicador inicial do processo
Q2	Tempo médio do Ciclo do produto (terminal origem)	119,5h	63,5h	Redução de 56h e uma melhoria de 53% em relação ao indicador inicial do processo
Q3	Tempo médio de operação dos trens	18h	12h	Redução de 6h uma melhoria de 66% em relação ao indicador do início do processo
Q4	Tempo do ciclo total de entrega do produto	191,5h	135,5h	Redução de 56h (2 dias) em relação ao indicador do início do processo

**Fonte: Autoria própria (2021)**

De acordo com o quadro 19, observa-se que ocorreram impactos significativos na taxa de atendimento dos lotes. Desta forma, uma vez que a utilização do novo modelo apresentou resultados imediatos para a empresa, seguiu-se com um guia para padronizar a nova configuração em todo o processo. Essa transformação foi estruturada para priorizar as etapas mais simples de implantação e que trouxessem maior benefício ao desenvolvimento do serviço estudado.

Observa-se que o estudo cumpriu com os objetivos estabelecidos pela empresa e descritos no capítulo 3, que eram:

- a) Cumprimento de prazos previamente acordados: ciclo de entregas reduziram de 191,5h para 135,5h.
- b) Melhoria na integração do fluxo de informação entre os agentes da empresa: redução na quantidade de tarefas e no tempo de processamento médio por atividade.
- c) Aperfeiçoamento e melhoria global, agregando valor e atendendo as expectativas do cliente.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas informações apresentadas neste trabalho, pode-se perceber a necessidade de corrigir, melhorar e integrar o fluxo de informação entre diferentes agentes do processo, visto que grande parte das empresas se organizam em departamentos, dificultando a comunicação e integração, causando um desalinhamento estratégico. Diante desta necessidade, definiu-se como objetivo geral deste trabalho apresentar uma proposta de melhoria de processos de STFC, incluindo a sua automatização através da implantação de sistemas ciber físicos e internet das coisas.

Para atingir ao objetivo geral, o trabalho precisou ser dividido em quatro fases, que se alinham às etapas definidas pela abordagem metodológica. Na primeira fase, detalhou-se o funcionamento do Sistema de Transporte Ferroviário de Cargas (STFC) através de definições dos principais autores e trabalhos literários na área.

A segunda fase teve como objetivo secundário levantar indicadores de desempenho usados para medir a eficiência e a qualidade dos níveis de serviços em STFC. Essa etapa foi desenvolvida com auxílio da literatura, de maneira a estruturar o embasamento teórico nas decisões e nos monitoramentos.

Na terceira fase, aplicou-se o método de melhoria de fluxo de informação e integração (MMFII) para corrigir e melhorar a integração do um processo de STFC. Como resultados parciais, observou-se a capacidade do método para esclarecer o trabalho desempenhado pelos agentes envolvidos diretamente no processo, sendo possível esclarecer a dinâmica operacional dos processos, a qual foi explicitada através de modelos gráficos e compartilhada junto às pessoas envolvidas no estudo.

Constatou-se que, por meio da aplicação do método, foi possível compreender o fluxo de trabalho, possibilitando a identificação dos problemas e suas respectivas causas, identificando falhas de integração causadas em função da transmissão de informações entre os diversos funcionários envolvidos com a situação de trabalho delimitada.

Como resultados finais da aplicação do método foi possível sugerir correções e melhorias para ambos os processos estudados, melhorando a execução e o desempenho das entregas ferroviárias. Além das correções e melhorias do processo,

foi possível sugerir a modernização do sistema, visando automatizar algumas atividades do processo.

Na quarta e última fase do trabalho, avaliou-se o desempenho e a eficiência do método escolhido em relação ao impacto na integração e automatização do processo ferroviário. Observou-se nesta etapa uma redução no ciclo total das entregas ferroviárias dos produtos, decorrentes das correções, melhorias e modernizações de processos, além do aumento da qualidade do serviço prestado ao cliente, levando em consideração a redução do número de atrasos nas entregas das cargas.

Desta forma, dado o objetivo inicial proposto, pode-se concluir que o trabalho foi finalizado com êxito por oferecer um método de correção, melhoria e integração de processos, que apresentou bons resultado na melhoria do desempenho operacional ferroviário.

Além disso, destaca-se a relevância da aplicação do método para auxiliar a compreensão do processo em ambientes de projeto ou serviços complexos, visando compreender, principalmente, o fluxo de comunicação e, conseqüentemente, a integração que se estabelece nesse tipo de processo. É importante ressaltar que esse método foi originalmente criado e apresentado em Estorilio (2003), onde o mesmo foi testado em dois campos industriais distintos do apresentado neste trabalho, porém, mostrando bons resultados para correção e melhoria do fluxo de informação e integração. Os campos estudados foram uma indústria de grande porte brasileira, desenvolvedora de aeronaves de grande porte, e uma indústria inglesa de médio porte, desenvolvedora de câmeras de segurança para ambientes comerciais amplos, como aeroportos e outros.

Como oportunidade para pesquisas futuras, sugere-se associar o método MMFII a outras metodologias de melhoria de processo, como a Produção Enxuta e outras, buscando ampliar a sua abrangência.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A, R.; PATI, R. K.; PADHI, S. S. Sustainable supply chain management in the chemical industry: Evolution, opportunities, and challenges. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 149, n. May, p. 275–291, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.020>>. .

ACERO, R.; ANTONIO, J.; ACERO, R.; et al. ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Order Stream Order processing improvement in military logistics by Value Stream Order processing improvement in military logistics by Value Stream Analysis lean methodology Order processing improve. **Procedia Manufacturing**, v. 41, p. 74–81, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.031>>. .

ANTE, G.; FACCHINI, F.; MOSSA, G.; DIGIESI, S. Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 13–18, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.227>>. .

AQLAN, F.; AL-FANDI, L. International Journal of Production Economics Prioritizing process improvement initiatives in manufacturing environments. **International Journal of Production Economics**, v. 196, n. December 2017, p. 261–268, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.004>>. .

ASADI, S. **Logistics System: Information and Communication Technology**. Elsevier Inc., 2011.

BARBOSA, B.; PEREIRA, M. T.; SILVA, F. J. G.; CAMPILHO, R. D. S. G. Solving quality problems in tyre production preparation process: a practical approach. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 1239–1246, 2017. The Author(s). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.250>>. .

BAROT, R. S.; PATEL, J.; SHARMA, B.; et al. Lean six sigma feasibility and implementation aspect in cast iron foundry. **Materials Today: Proceedings**, v. 28, p. 1084–1091, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.087>>. .

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245–1252, 2017. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.045>>.

BETARELLI, A. A.; DOMINGUES, E. P.; HEWINGS, G. J. D. Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 135, n. June 2019, p. 1–23, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.018>>.

BHADANI, K.; ASBJÖRNSSON, G.; HULTHÉN, E.; EVERTSSON, M. Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation. **Minerals Engineering**, v. 145, n. April 2019, p. 106065, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106065>>.

BUER, S.; FRAGAPANE, G. I.; STRANDHAGEN, J. O.; OLA, J.; OLA, J. ScienceDirect Process Improvement Cycle: The Process Improvement Cycle: The Process Improvement Cycle: The Process Improvement Cycle: Using Digitalization for Continuous Improvement The Process Improvement Cycle: Using Digitalization for Continuous I. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1035–1040. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.471>>.

CARBONI, A.; DEFLORIO, F. Simulation of railroad terminal operations and traffic control strategies in critical scenarios. **Transportation Research Procedia**, v. 45, p. 325–332, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.023>>.

CIMINI, C.; LAGORIO, A.; PIROLA, F.; PINTO, R. Exploring human factors in Logistics 4.0: Empirical evidence from a case study. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 2183–2188, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.529>>.

COSTA, J. P.; LOPES, I. S.; BRITO, J. P. ScienceDirect ScienceDirect for quality quality improvement improvement of of the the pin pin insertion insertion Six Sigma Sigma application application for process process. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. 2019, p. 1592–1599, 2020. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.126>>.

COSTA, L. B. M.; GODINHO FILHO, M.; FREDENDALL, L. D.; DEVÓS GANGA, G. M. Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation. **International Journal of Production Economics**, v. 231, n. June 2020, 2021.

ESTEFANIA, T. V.; SAMIR, L.; ROBERT, P.; PATRICE, D.; ALEXANDRE, M. The integration of ERP and inter-intra organizational information systems: A Literature Review. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 1212–1217, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.425>>. .

ESTORILIO, C. C. A. O Trabalho Dos Engenheiros Em Situações De Projeto De Produto : Uma Análise De Processo Projeto De Produto : Uma Análise De Processo Baseada Na Ergonomia. , 2003. **Universidade de São Paulo**.

ESTORILIO, C. C. A.; MAIA, V.; MAIA, W.; QUEIROZ, W. Research opportunities in industry 4.0: a systematic review. **Advances, International Workshop Production, Cleaner**, v. 8th, 2019.

FRAILE SORDI, V.; CUNHA, C.; NAKAYAMA, M. Criação de conhecimento nas organizações: Epistemologia, tipologia, facilitadores e barreiras. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 7, n. 2, p. 160–174, 2017.

GALINDO, L. D. The Challenges of Logistics 4. 0 for the Supply Chain Management and the Information Technology., n. May, 2016.

GULERIA, P.; PATHANIA, A.; SHUKLA, R. K.; SHARMA, S. Lean six-sigma: Panacea to reduce rejection in gear manufacturing industry. **Materials Today: Proceedings**, n. xxxx, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.559>>.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, 2017.

JIN, J. G.; ZHAO, J.; LEE, D. H. A column generation based approach for the Train Network Design Optimization problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 50, n. 1, p. 1–17, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2012.11.004>>.



JORDON, K.; DOSSOU, P. E.; JUNIOR, J. C. Using lean manufacturing and machine learning for improving medicines procurement and dispatching in a hospital. **Procedia Manufacturing**, v. 38, n. Faim 2019, p. 1034–1041, 2019. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.189>>.

JOSÉ CARLOS DA SILVA SANTOS A. A BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE EM UM PROCESSO INDUSTRIAL: MODELO DE INTEGRAÇÃO DA TÉCNICA SEIS SIGMA COM ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS. **UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO**, v. 151, n. 2, p. 10–17, 2018.

KHEYBARI, S.; REZAEI, F. M.; NAJI, S. A.; JAVDANMEHR, M.; REZAEI, J. Evaluation of factors contributing to the failure of information systems in public universities: The case of Iran. **Information Systems**, v. 92, p. 101534, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101534>>. .

KREGEL, I.; STEMANN, D.; KOCH, J.; CONERS, A. Computers & Industrial Engineering Process Mining for Six Sigma : Utilising Digital Traces. **Computers & Industrial Engineering**, v. 153, n. September 2020, p. 107083, 2021. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107083>>. .

KUMAR, A.; ANBANANDAM, R. Evaluating the interrelationships among inhibitors to intermodal railroad freight transport in emerging economies: A multi-stakeholder perspective. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 132, n. December 2019, p. 559–581, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.023>>. .

MOTWANI, J.; KUMAR, A.; JIANG, J.; YOUSSEF, M. Business process reengineering: A theoretical framework and an integrated model. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 18, n. 9–10, p. 964–977, 1998.

MUSTAFA, S. Z.; KAR, A. K.; JANSSEN, M. F. W. H. A. Understanding the impact of digital service failure on users: Integrating Tan's failure and DeLone and McLean's success model. **International Journal of Information Management**, v. 53, n. March, p. 102119, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102119>>.

NANDAKUMAR, N.; SALEESHYA, P. G.; HARIKUMAR, P. ScienceDirect. **Materials**

**Today: Proceedings**, v. 24, p. 1217–1224, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.436>>.

NGAI, E. W. T.; LAI, K. H.; CHENG, T. C. E. Logistics information systems: The Hong Kong experience. **International Journal of Production Economics**, v. 113, n. 1, p. 223–234, 2008.

PINTO, L.; SANTANA, A.; AFONSO, P.; ZANIN, A.; WERNKE, R. ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect Improve the extrusion process in tire production methodology T . capacity Costing models for optimization Industry 4 . 0 : Trade-off between used capacity and operational efficiency Improve the extru. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1104–1111, 2017. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.171>>.

RANADE, P. B.; REDDY, G.; KOPPAL, P.; PAITHANKAR, A.; SHEVALE, S. Implementation of DMAIC methodology in green sand-casting process. **Materials Today: Proceedings**, v. 42, p. 500–507, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.475>>.

RODRÍGUEZ, R.; MOLINA-CASTILLO, F. J.; SVENSSON, G. The mediating role of organizational complexity between enterprise resource planning and business model innovation. **Industrial Marketing Management**, v. 84, n. August 2019, p. 328–341, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.09.007>>.

SIMONE TAVARES FERNANDES. INTEGRAÇÃO DOS PROGRAMAS DE MELHORIA LEAN MANUFACTURING E SIX SIGMA APLICADOS À LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DE PRODUTOS DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA Dissertação. **Universidade Estadual Paulista**, p. 121, 2008.

STRANDHAGEN, J. W.; ALFNES, E.; STRANDHAGEN, J. O.; VALLANDINGHAM, L. R. The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 344–358, 2017. Shanghai University. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40436-017-0200-y>>.

TAO, F.; QI, Q.; WANG, L.; NEE, A. Y. C. Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. **Engineering**, v. 5, n. 4, p. 653–661, 2019.

TORBACKI, W.; KIJEWSKA, K. Identifying key performance indicators to be used in logistics 4.0 and industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATEL method. **Transportation Research Procedia**, v. 39, p. 534–543, 2019a.

TORBACKI, W.; KIJEWSKA, K. Identifying key performance indicators to be used in logistics 4.0 and industry 4.0 for the needs of sustainable municipal logistics by means of the DEMATEL method. **Transportation Research Procedia**, v. 39, n. 2018, p. 534–543, 2019b. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.055>>.

YAVAS, V.; OZKAN-OZEN, Y. D. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 135, p. 1–18, 2020a.

YAVAS, V.; OZKAN-OZEN, Y. D. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 135, p. 1–18, 2020b.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – RESEARCH OPPORTUNITIES IN INDUSTRY 4.0: A SYSTEMATIC REVIEW

#### **Research opportunities in industry 4.0: a systematic review**

ESTORILIO, C. C. A.<sup>1</sup>, MAIA, S. V.<sup>1</sup>, MAIA, A. W.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PPGEM - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e de Materiais, UTFPR –  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

---

#### **Abstract**

Industry 4.0, called the fourth industrial revolution, focuses on the computerization of processes, creating an independent and intelligent company. Independence refers to its self-management through immersive technologies and artificial intelligence. Therefore, it is characterized by the integration of intelligent manufacturing into the means of production, understood by a variety of technologies such as Internet of Things, Cyber-Security, Additive Manufacturing, Augmented Reality, Systems Integration, and others. Due to its importance in the industrial environment, which seeks to maintain its competitiveness, following the trends of the market, this theme has gained prominence in the academic and industrial circles in recent years. An increasing number of publications on the subject begins to emerge in 2016 and is therefore a recent topic, which is still demanding investigations. Therefore, the aim of this work is to identify the research opportunities in this topic, aiming to direct future research. For this, it presents a systematic literature review, identifying the main means of publication. Keywords are identified and submitted to databases of scientific relevance, such as: Web of Science, Science Direct, and Scopus. The first selection is limited to articles written in English, peer-reviewed in the engineering area, and published until 2019. Next, a selection of the original journals is made, considering only those with an impact factor (Journal Citation Reports (JCR)) higher than 2.5. Then, the titles and abstracts are read, in order to select the ones of greater relevance to the intended goal. Some exclusion criteria were also considered, in order to maintain the focus of the study. After this quantitative and qualitative selection, all the papers selected were analyzed. Among the results, the study presents the characterization of research on the topic and its frequency of publication, ending with the main research opportunities on the industry 4.0, including new topics or subjects in development.

---

*Keywords: Industry 4.0, Internet of things, research opportunities, systematic literature review*

---

#### **1. Introdução**

A indústria vem passando por transformações responsáveis por alterações de paradigma que, de alguma forma, provocam mudanças na sociedade em que vivemos. Essas mudanças são chamadas de "Revoluções Industriais", caracterizadas por (Freeman and Louçã, 2002) da seguinte forma:

- 1ª Revolução Industrial: Teve início pela criação das ferrovias e do motor a vapor, responsável pela mecanização dos meios de produção;
- 2ª Revolução Industrial: Responsável pela intensificação do uso de energia elétrica e implementação de linhas de montagem nos meios de produção, tornando a produção em massa uma realidade;
- 3ª Revolução Industrial ou "Revolução Digital": Responsável pela origem de computadores mainframe, computadores pessoais, Internet e semicondutores;

- 4ª Revolução Industrial: Caracterizada pela digitalização dos meios de produção através da utilização de tecnologias responsáveis por integrar o físico com o sistêmico e pela crescente automação dos processos que os envolvem (Pisching et al., 2018).

A tendência é que esses meios de produção sejam modularizados e descentralizados para permitir que o produto controle o sistema produtivo, a ponto de permitir a customização de produtos em uma linha de produção automatizada e em larga escala (Lasi et al., 2014).

Comparado aos sistemas convencionais, a indústria 4.0 tem uma influência significativa no ambiente de produção, permitindo o planejamento e o controle em tempo real (Sanders et al., 2016). Sendo assim, ela ajuda a promover o aumento da competitividade através do uso de equipamentos inteligentes, usando a integração digital de ponta-a-ponta para conectar toda a cadeia de produção (Stock and Seliger, 2016). Esta conexão, através da IoT (Internet of the Things) e CPS (Cyber Physical System), possibilita o desenvolvimento de sistemas e a geração de informações através de uma combinação de tecnologias (Bahrin, K. et al., 2016).

Apesar da importância da indústria 4.0, as pesquisas e contribuições na área ainda são recentes e muito tem a ser explorado. O salto exponencial ao redor do tema ocorre a partir de 2016, incluindo revisões sistemáticas que visam levantar o estado da arte sobre o tema. Dentre eles, pode-se citar o de Dohale and Kumar (2018), que seleciona trabalhos publicados entre janeiro de 2017 e junho de 2018 de duas bases de dados, Web of Science e ProQuest, analisando 24 trabalhos relevantes na área e destacando as principais contribuições de pesquisa sobre o tema.

Outra contribuição é a de Liao et al. (2017), cuja revisão é mais abrangente, apesar de considerar trabalhos somente até 2016. Em outros trabalhos de revisão da literatura, como o de Muhuri et al. (2019) e Strozzi et al. (2017), os critérios de seleção abrangem os artigos mais citados dos bancos de dados e limitam-se à uma análise bibliométrica.

Há outros trabalhos de revisão bibliográfica sobre a Indústria 4.0, porém, até 2019, não há trabalhos que considerem uma revisão sistemática da literatura, selecionando apenas artigos de alta relevância no meio acadêmico, com alto fator de impacto (JCR). Os trabalhos também não têm como foco identificar as oportunidades de pesquisa, visando orientar trabalhos futuros sobre o tema.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é identificar as oportunidades de pesquisa neste tema, visando direcionar as pesquisas futuras. Este trabalho visa esclarecer quatro questões sobre o tema: as principais características da Indústria 4.0; os atuais campos de aplicação da indústria 4.0; quem está trabalhando com o tema, onde e desde quando; os atuais esforços de pesquisa e as oportunidades futuras em função das diretrizes na área.

Para isso, apresenta uma revisão sistemática da literatura, analisando o progresso acadêmico da quarta revolução industrial de maneira ampla, contemplando trabalhos até 2019. A busca limita-se aos artigos escritos em inglês, revisados por pares, na área de engenharia. Em seguida é feita uma seleção das revistas de origem, considerando apenas aquelas com alto fator de impacto ( $JCR \geq 2,5$ ).

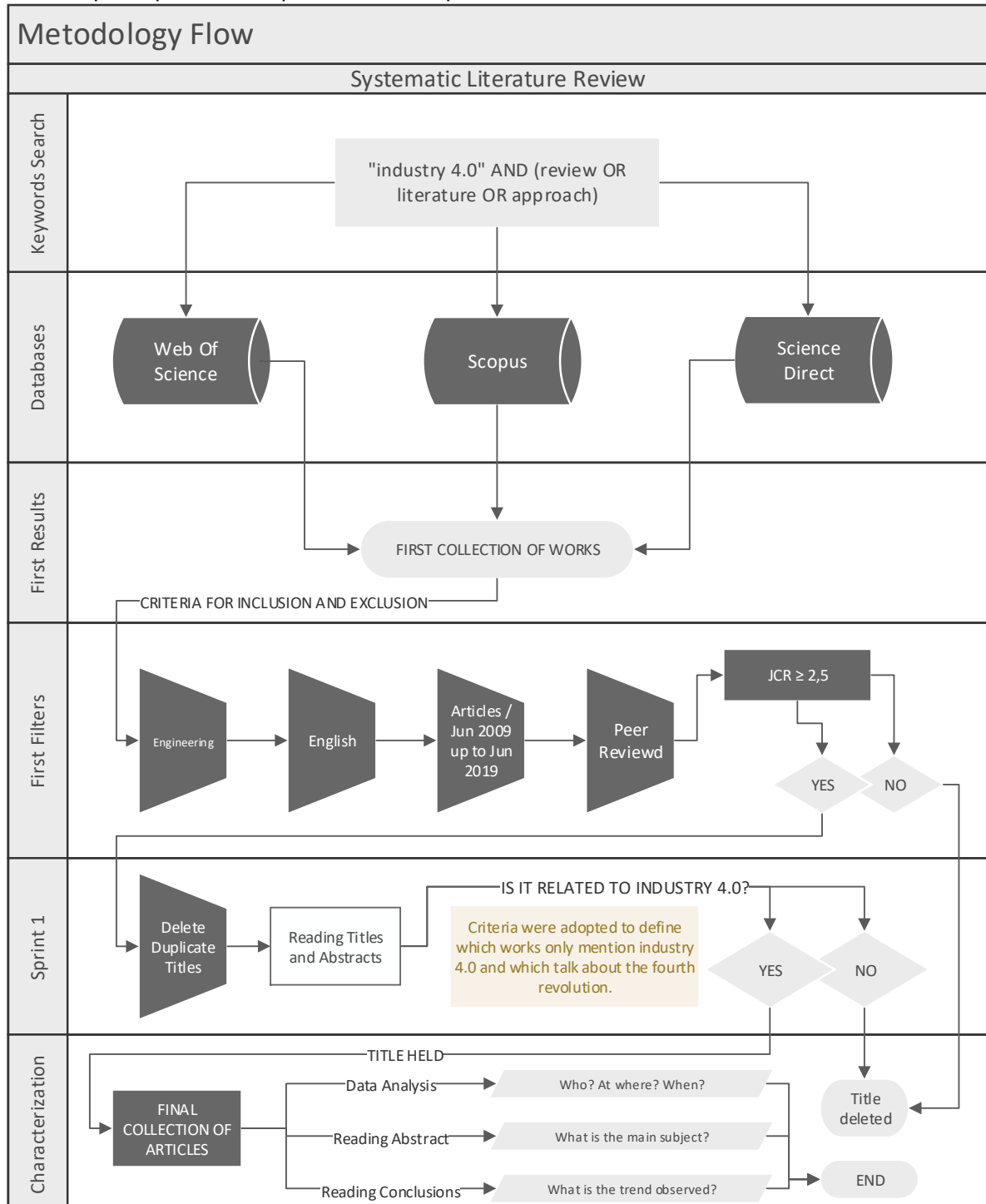
Então, é realizada a leitura dos títulos e resumos, visando selecionar os de maior relevância ao objetivo pretendido. Alguns critérios de exclusão também são considerados, visando manter o foco do estudo. Após esta seleção quantitativa e qualitativa, todos os artigos selecionados são analisados.

Entre os resultados, além de responder as perguntas descritas acima, apresenta a caracterização das pesquisas sobre o tema e a sua frequência de publicação, finalizando com as principais oportunidades de pesquisa sobre a indústria 4.0, incluindo novos temas ou temas em desenvolvimento.

## 2. Metodologia

A revisão sistemática neste trabalho objetivou levantar o estado da arte sobre um tema relativamente novo, considerando fontes de alta relevância na área. A metodologia adotada refere-se a uma adaptação das metodologias abordadas em Stock and Seliger (2016) e Kamble et al. (2018).

A Figura 1 ilustra a metodologia adotada através de um fluxograma, a qual ocorre em 5 etapas: seleção das palavras-chaves e o subsequente algoritmo para aplicação nas bases de dados escolhidas; seleção das bases de dados; critérios de inclusão e exclusão; coleta de artigos e, por fim, a caracterização da pesquisa, que compreende o método para se obter os principais dados para a análise posterior.



**Figura 1.** Fluxograma de Metodologia da Revisão Sistemática

A fim de se obter as palavras-chaves, testou-se diversas combinações visando avaliar os resultados quantitativa e qualitativamente, até a obtenção de títulos relevantes e coerentes com o objetivo do trabalho. Para acessar publicações relevantes, utilizou-se três bancos de dados: Web of Science, Scopus e Science Direct.

Após a coleta, determinou-se alguns critérios de inclusão e exclusão, a fim de filtrar os melhores e mais relevantes trabalhos sobre o tema. Foram considerados apenas os artigos publicados originalmente em inglês até junho de 2019, revisados por pares, na área de engenharia e com fator de impacto JCR  $\geq 2,5$ . A lista de artigos resultante desta triagem foi submetida a leitura de títulos, visando eliminar duplicações e temas fora de contexto.

O último critério de seleção foi a relação direta com o tema "indústria 4.0", demandando a leitura de títulos e resumos. Apenas os trabalhos relacionados com o tema ou com alguns dos pilares da indústria 4.0 foram considerados para as análises. Neste ponto, os seguintes critérios de exclusão foram adotados: Os trabalhos que apenas citaram a indústria 4.0 como exemplo ou em contexto tangencial ao tema foram desconsiderados.

Os critérios de exclusão adotados, adaptado de Liao et al. (2017), consideram que o documento não pertence à revisão quando a Indústria 4.0 é usada apenas como: um exemplo; parte do direcionamento da pesquisa quanto à pesquisas futuras; uma expressão citada durante o texto; palavras-chave ou referências no texto.

A caracterização da pesquisa resume-se no meio necessário para entender os principais temas da pesquisa relacionado ao tema indústria 4.0 ao longo do tempo. Para isso, buscou-se responder três perguntas, seguindo os seguintes passos:

1. Quem, onde e quando?
  - Identificar os autores dos trabalhos, as revistas nas quais eles foram publicados;
  - Pesquisar o país onde o artigo foi escrito e publicado e o ano de publicação.
2. Quais são os principais assuntos abordados sobre o tema?
  - Ler os resumos dos artigos;
  - Listar e resumir os principais temas e abordagens dos trabalhos.

Obs: Os principais assuntos abordados na indústria 4.0 foram identificados através de artigos que abordavam questões conceituais sobre a quarta revolução industrial, independente da sua seleção na triagem descrita acima, pois, neste caso, a meta era obter a compreensão conceitual sobre a base do tema e, não, o levantamento do estado da arte. A caracterização dos principais contextos da quarta revolução industrial resultou na identificação de quais são os principais pilares da pesquisa e tecnologias envolvidas no tema.
3. Quais são as tendências de pesquisa?
  - Ler os resumos, conclusões e considerações finais;
  - Identificar no texto as sugestões para trabalhos futuros ou oportunidades de pesquisa.

### 3. Análise bibliométrica e bibliográfica

Primeiramente, testou-se várias combinações de palavras-chaves, porém, a combinação final foi a seguinte: "industry 4.0" AND (review OR literature OR approach). Essa combinação resultou em 5.945 artigos para as 3 bases de dados escolhidas.

A seguir, os filtros foram aplicados, conforme indicados na Figura 1 na fase "First Filters": somente artigos revisados por pares, publicados entre 2009 e junho de 2019, na área de engenharia. Com os filtros obteve-se um total de 690 artigos, que foram submetidos à análise qualitativa em relação ao índice JCR das revistas, resultando em 157 artigos. As revistas sem índices JCR foram excluídas.

A leitura de títulos e resumos dos 157 artigos buscou identificar trabalhos que obedeciam ao último critério de seleção: artigos que tinham apenas relação direta com o tema "indústria 4.0" e a eliminação de títulos duplicados, resultando em 142 artigos, os quais foram analisados em detalhes, conforme cita a fase final, "caracterização".

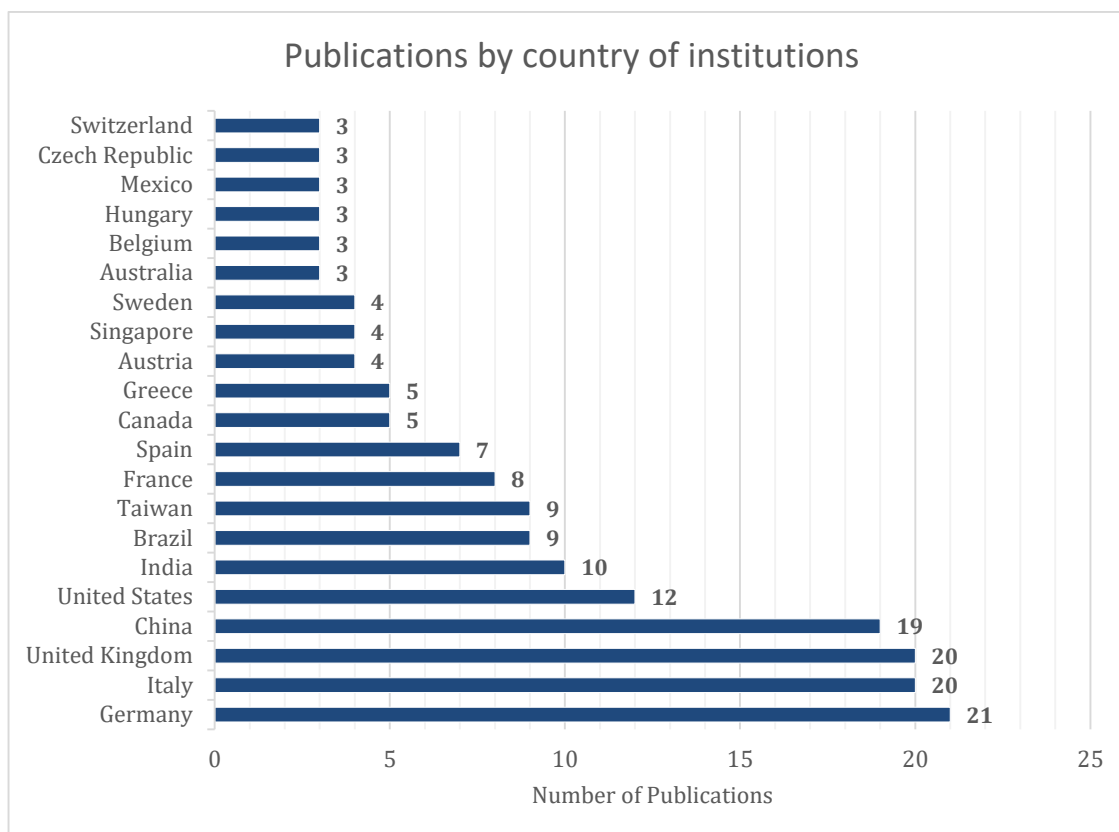
#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A análise completa dos 142 artigos buscou responder algumas questões previamente citadas, visando entender os principais temas da pesquisa relacionado ao tema indústria 4.0 ao longo do tempo.

##### 3.1.1. QUEM, ONDE E QUANDO

Analisando os 142, constatou-se 498 autores diferentes, sendo a maioria (95,2%) autor de apenas um artigo. Apenas 4,6% são autores de 2 artigos e 1 pesquisador (0,2%) são

autores de 3 ou mais trabalhos. O Dr. Fiorentino M., é o único autor com 3 artigos e, portanto, o que mais apresenta publicações relacionadas ao tema nesta revisão. Com base nas categorias dos artigos deste autor, o principal foco é a Amplified Reality, sendo base de todos os seus artigos relacionados. A Figura 2 mostra a distribuição das publicações pelo mundo através da identificação dos países onde estes artigos foram publicados de acordo com suas instituições.



**Figura 2.** Principais países por autores

Conforme Figura 2, observa-se que a Alemanha possui a maior quantidade de publicações, com 21 publicações, seguidas da Itália e Reino Unido, com 20 publicações cada. Na sequência, apresentam-se China, Estados Unidos e Índia com 19, 12 e 10 publicações respectivamente. O Brasil aparece em 7º lugar com 9 publicações. Os demais países estão dispostos na Figura 2.

Além desses países, South Korea e Hong Kong aparecem com 2 publicações cada, seguido de outros 19 países que aparecem com 1 publicação cada. São eles: South Africa, Bangladesh, Kazakhstan, Colombia, Slovakia, Finland, Ghana, Ireland, Lithuania, Luxembourg, Malaysia, Malta, Norway, New Zealand, Poland, Romania, Russia, Tunisia e Vietnam. Importante salientar que a soma das publicações em relação aos países é maior do que o número de artigos mapeados no Sprint 1 pois essa análise leva em consideração a Instituição de Origem de cada um dos artigos, sendo que um mesmo artigo pode relacionar mais de uma instituição de ensino.

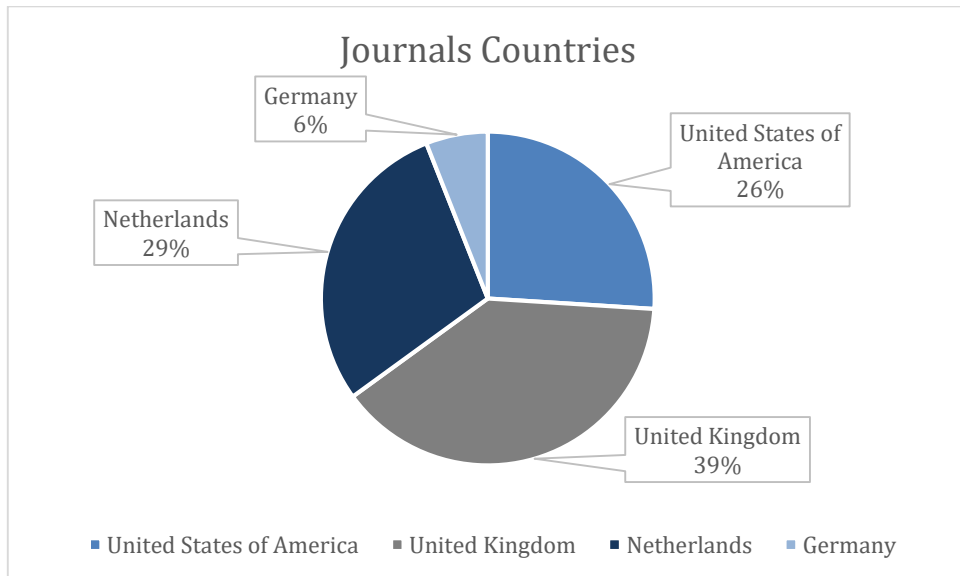
Na Figura 3 é possível observar concentrações de publicação nos países do globo. O maior número de contribuições é de países da Europa, equivalente a 22 países. Em seguida vem a Ásia, com 10 países, a América com 5 países, a Oceania com 2 e a África com ou 3 países.

A Figura 4 apresenta o país de origem das revistas nas quais os artigos foram publicados. A quantidade de Journals produzidos são as seguintes: países do Reino Unido (39%), Holanda (29%), Estados Unidos (26%) e Alemanha (6%).





**Figura 3.** Mapa representativo do número de publicações em cada país do mundo.



**Figura 4.** Países de origem dos Journals

Quanto aos principais Journals que abordam o tema, constata-se os seguintes:

- O Reino Unido contempla 39% das publicações, contemplando 55 artigos. No total, aparecem 12 Journals do Reino Unido, considerando que o jornal com o maior número de publicações é o "Journal of Production Research" com 13 artigos, representando 9% do "Sprint 1". Em seguida, aparece o "COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING" com 12 publicações (8,5% do Sprint 1) e "PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION" com 9 artigos (6% do Sprint 1). Outros 21 trabalhos foram publicados em 9 revistas distintas.
- Os Estados Unidos contemplam 26% das publicações (37 artigos) em 9 Journals diferentes. O "Ieee Access" lidera com 18 artigos, representando 12,7% do Sprint 1; seguido pelo "Journal IEEE Transactions on Industrial Informatics" com 7 artigos e 5% do Sprint 1 e o "CIRP ANNALS-MANUFACTURING TECHNOLOGY" com 3 artigos, 2% do Sprint 1. Outros 9 trabalhos (6% do Sprint 1) foram publicados em 6 revistas diferentes.
- A Holanda contempla 29% incluindo 41 artigos: 21 são do Journal "Computers in Industry", representando 14,8% do Sprint 1; o "Journal of Manufacturing Systems" possui 7 artigos ou 5% do Sprint 1. O "Journal of Cleaner Production" e o "Energies" tem 4 artigos cada.

- A Alemanha contribui com 9 publicações apontadas para o mesmo Journal (International Journal of Advanced Manufacturing Technology), representando 6% do Sprint 1.

De maneira geral, os 142 artigos selecionados pertencem a 30 Journals. A Figura 5 apresenta o ranking dos 10 primeiros Journals em relação ao número de artigos publicados em cada um deles. Cerca de 75% dos artigos selecionados na revisão sistemática concentram-se em 10 das 30 revistas mapeadas. Outros 25% encontram-se distribuídos por outros 20 Journals diferentes.

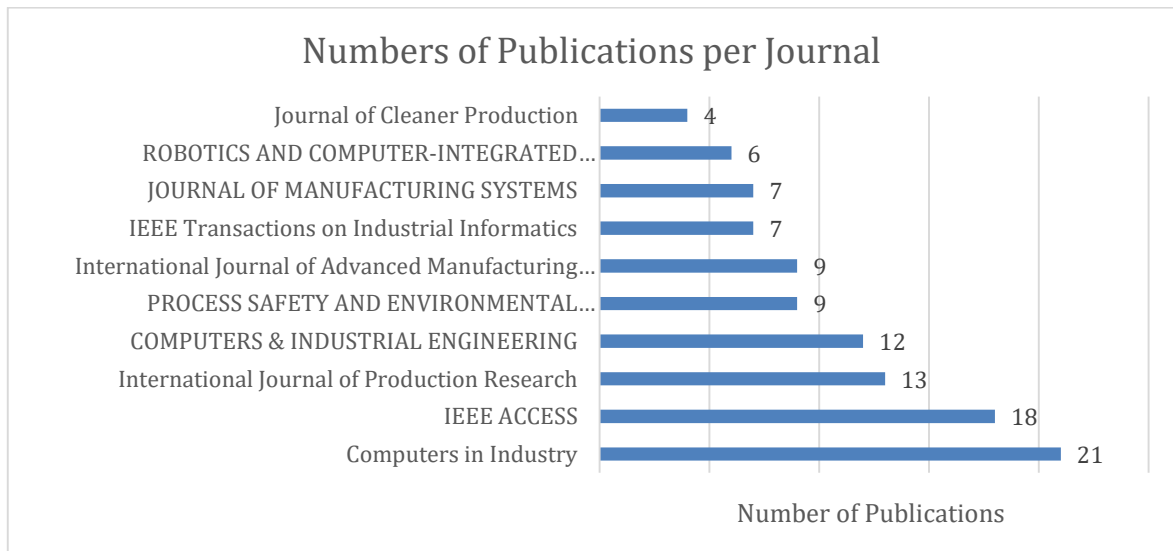


Figura 5. Detalhes das publicações por Journals

Na "Computers in Industry Journal", a que aparece com mais artigos (14,8% do total), 24% deles são sobre a System integration. O artigo mais citado, de Romero and Vernadat (2016), destaca as futuras perspectivas para os sistemas de informação corporativos da próxima geração. Aborda as tecnologias envolvidas e apresentam as tendências futuras nas várias camadas da System integration e corporações. Uma das principais tendências de evolução apontadas é a integração entre corporações através de sistemas capazes de colaborar entre si e com sistemas de informação federais que serão capazes de suportar trabalhos colaborativos em grande escala. O alinhamento entre as estratégias de negócio e as tecnologias de informação apresentam um papel relevante, visto que os serviços de Interoperabilidade Empresarial e Rede precisarão se tornar uma "commodity" para suportar um mundo e uma economia global mais interconectados.

Cerca de 14% dos trabalhos publicados no "Computers in Industry Journal" abordam as tecnologias da Internet of Things (IoT) e observam tendências de pesquisa. Hofmann and Rüsç (2017), o trabalho mais citado, discute as oportunidades da Indústria 4.0 no contexto da gestão logística, uma vez que são esperadas muitas consequências nesse campo. Para eles, os estudos revelam oportunidades em termos de descentralização, auto regulação e eficiência, porém, torna-se evidente que o conceito de Indústria 4.0 ainda não está totalmente estabelecido na prática. As investigações demonstram as principais tendências da indústria 4.0 no contexto de sistemas Kanban, Just-in-Time/Just-in-Sequence e entre empresas de uma maneira precisa, usando cenários exemplificados como referências para a promoção de inovações quanto à gestão logística.

Outros trabalhos sobre IoT mostram tendências tanto na área logística, como na flexibilidade de sistemas Cyber Físicos, citando o aprofundamento da segurança dos sistemas de IoT ou soluções para "brownfield issues", ou seja, problemas provocados pela "contaminação de informações", tornando a tecnologia não sustentável. Ainda há trabalhos sobre CyberSecurity, Big Data e Automação, com 10% de trabalhos sobre cada tema. A Amplified Reality e a Cloud Computing aparecem em menor número, com cerca de 5% cada das publicações no "Computers in Industry Journal".

No "IEEE ACCESS", 18 artigos (13% do total) abordam principalmente pesquisas envolvendo IoT e System integration. Somente 2 dos 9 pilares da indústria 4.0 não aparecem nas pesquisas, são eles: Additive Manufacturing e Cloud Computing.

A Tabela 1 apresenta os artigos selecionados pelo fator de impacto (JCR) de cada revista. Apenas 16,9% dos trabalhos aparecem nas 10 melhores revistas. A revista com maior número de publicações aparece em 21º lugar, com JCR 2,85, a "Computers In Industry".

O trabalho mais bem avaliado (com JCR 10,4) é o de Wollschlaeger, M. et al. (2017), publicado nesta revista. Ele mostra que a adoção de tecnologias e conceitos de IoT em automação crescerão nos próximos anos, demandando avaliações e adaptações às necessidades da automação industrial. A integração vertical de sistemas é promissora, tendo como desafio da comunicação industrial, a gestão da complexidade e heterogeneidade de informações.

**Tabela 1.**

Classificação dos melhores Journals

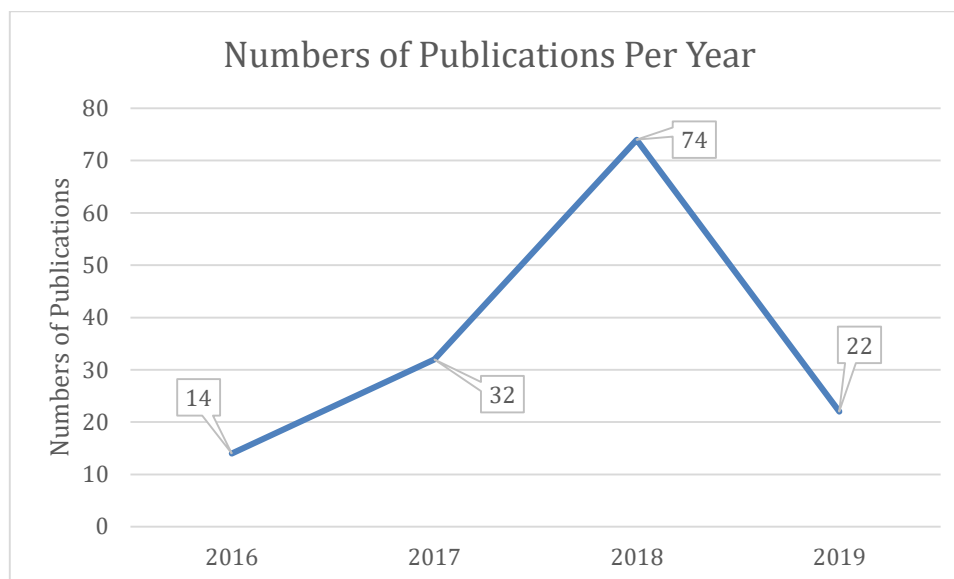
Ranking	Journal	Nº Artigos	JCR
1º	IEEE Industrial Electronics Magazine	1	10,429
2º	Proceedings of The Ieee	2	9,107
3º	Applied Energy	1	7,900
4º	IEEE Transactions on Industrial Electronics	1	7,050
5º	IEEE Internet of Things Journal	2	5,874
6º	Journal of Cleaner Production	4	5,651
7º	IEEE Transactions on Industrial Informatics	7	5,430
8º	International Journal of Machine Tools & Manufacture	1	5,106
9º	Automation In Construction	2	4,032
10º	International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology	2	3,774
11º	Expert Systems With Applications	1	3,768
12º	Journal of Manufacturing Systems	7	3,699
13º	IEEE Access	18	3,557

<b>14º</b>	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	6	3,46 4
<b>15º</b>	Process Safety and Environmental Protection	9	3,44 1
<b>16º</b>	Advanced Engineering Informatics	2	3,35 8
<b>17º</b>	Cirp Annals-Manufacturing Technology	3	3,33 3
<b>18º</b>	Computers & Industrial Engineering	12	3,19 5
<b>19º</b>	Industrial Management & Data Systems	4	2,94 8
<b>20º</b>	Computers In Industry	21	2,85 0
<b>21º</b>	Safety Science	1	2,83 5
<b>22º</b>	Engineering Applications of Artificial Intelligence	2	2,81 9
<b>23º</b>	IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	1	2,79 4
<b>24º</b>	Energies	4	2,67 6
<b>25º</b>	Engineering	3	2,66 7
<b>26º</b>	Robotics and Autonomous Systems	1	2,63 8
<b>27º</b>	International Journal of Production Research	13	2,62 3
<b>28º</b>	Control Engineering Practice	1	2,61 6
<b>29º</b>	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	9	2,60 1
<b>30º</b>	IEEE Transactions on Human-Machine Systems	1	2,56 3

Entre os nove pilares da indústria 4.0, os assuntos mais abordados pelas 10 melhores revistas deste ranking são: IoT (34%), Big Data (25%), Cloud Computing (12,5%) e Automação (12,5%). Pesquisas relacionadas com o tema de sustentabilidade na indústria 4.0 aparecem nos 16% de todos os artigos publicados nas 10 revistas mais bem classificadas.

Levando em consideração o ano de publicação dos 142 artigos selecionados, observa-se um crescimento em ascensão desde 2016, pois entre 2016 e 2019 houve um

crescimento de 494% no número de publicações bem qualificadas, considerando o fator de impacto (JCR) (Ver Figura 6).



**Figura 6.** Número de Publicações por ano

### 3.1.2. PRINCIPAIS TEMAS ABORDADOS INDUSTRIA 4.0

Iniciando pela revisão de conceitos sobre o tema "indústria 4.0", encontrou-se várias vertentes tecnológicas que embasam a quarta revolução industrial. Os próximos itens apresentam uma breve revisão dos principais conceitos desta revolução.

#### i. Big Data e análise

Através da necessidade de análise e otimização de dados, a *Big Data* ganha destaque na era 4.0, elevando a qualidade e a efetividade da produção, racionalizando energia e aumentando a eficiência de cada equipamento. Ela age como um completo banco de dados, integrando a quantidade de dados a serem analisados de diversas fontes (sistemas, equipamentos etc.), além de possuir papel fundamental na avaliação de números, estatísticas e indicadores de uma indústria, prevenindo falhas nos processos e na produção de bens ou serviços.

Segundo Lee (2018), a Big Data desempenha uma capacidade analítica de dados e habilidades para desenvolver e interpretar os algoritmos para impulsionar a transformação industrial. Os sistemas inteligentes, baseados nesses bancos de dados, são capazes de identificar desvios gerais na etapa produtiva, eliminando assim, custos com energia e melhorando a eficiência na utilização de recursos no processo.

#### ii. Autonomous Robot

Sistemas com robôs automatizados estão ganhando destaque no cenário industrial. Eles conseguem desempenhar atividades sem a supervisão humana, operando de maneira autônoma e inteligente. A utilização desses robôs aumenta a produtividade, reduz retrabalhos e custos extras com mão-de-obra.

Os sistemas de manufatura inteligente através dos Autonomous Robot desenvolvem uma nova solução para processar produtos personalizados. Os processos interagem entre si através de sensores avançados e robôs inteligentes que são capazes de detectar, em tempo real, as demandas operacionais daquele processo, promovendo uma integração geral do sistema. Segundo Liu (2016), a implantação generalizada de vários tipos de sensores possibilita o monitoramento inteligente.

Segundo Wang (2016), a interação contínua e a troca de informações ocorrem entre as máquinas e entre homem/máquinas.

Sanders et al. (2016) citam que o planejamento da produção inteligente influencia nas mudanças, no ambiente operacional e na execução das operações, habilitando programas em tempo real, do planejamento ao controle da produção.

Em uma fábrica inteligente, produtos e máquinas interagem entre si, otimizando o processo produtivo, dando origem aos diversos Sistemas Cyber Físicos (CPS), incluindo etapas horizontais e verticais integradas com tecnologias de ponta e aplicações que buscam suportar os processos industriais (Liu, 2016).

### iii. IoT (Internet Industrial das coisas)

A IoT é responsável por conectar vários dispositivos, facilitando a interface e o controle em todo o processo produtivo. Ela pode ser caracterizada como uma área na qual todos os itens (físicos) podem se transformar em “produtos inteligentes”, conectados por um sistema em rede que interliga todo o processo.

A IoT é capaz de auxiliar os seres humanos a cumprirem parte de suas atribuições nas fábricas por meio de modelos avançados de sincronização. De acordo com Liu (2016), a inteligência das máquinas desempenha um papel importante no desempenho do processo, visto que fornecem suporte às etapas do processo produtivo.

Conectada através da internet, a IoT interliga sensores que são capazes de gerar dados, melhorando a tomada de decisão no processo. De acordo com Lu e Cecil (2016), a IoT aumenta a capacidade de transmissão de maneira ágil e facilita o fluxo de informações, flexibilizando as operações remotas dos processos produtivos.

Segundo Nolin and Olson (2016), a IoT vem ganhando campo em ambientes caracterizados pela utilização da tecnologia inteligente.

### iv. Simulation

O termo “Simulation” engloba todo ambiente virtual com dados reais dos processos físicos, simulando toda cadeia produtiva, pessoas, processos, máquinas e produtos.

Goodall et al. (2019) apresentam algumas técnicas de simulação, como: simulações de Eventos Discretos (DES), System Dynamics (SD) e simulações baseadas em agente (AB) que, normalmente, são utilizadas para prever o comportamento real de sistemas de manufatura. Estas simulações ocorrem através de softwares e suportam o planejamento da fabricação.

De acordo com Goodall et al. (2019), elas podem ser ineficientes se as variáveis da manufatura não forem coletadas corretamente. A simulação precisa ser capaz de projetar o cenário real, prevendo mudanças ou variabilidades no processo, utilizando bases digitais e fornecendo informações consistentes para a tomada de decisão.

### v. Cybersecurity

A Cybersecurity refere-se à prevenção de dados de equipamentos industriais, visto que alguns são vulneráveis a ataques cibernéticos, capazes de afetar todo o processo produtivo.

Para Lezzi et al. (2018), os riscos de segurança pelas ameaças cibernéticas dependem da perda de confidencialidade (risco de divulgação de dados), integridade (risco de corrupção ou modificação de registros e perda de dados) e disponibilidade de informações ou sistemas de informação (risco de negação de serviço).

Sistemas de dados mais seguros garantem a confiabilidade do processo de produção. Lezzi et al. (2018) mencionam que a organização deve conhecer e gerenciar a vulnerabilidades dos sistemas, destinando parte do planejamento na avaliação da segurança cibernética do seu processo, determinando alguns indicadores para deficiências e vulnerabilidade de dados.

### vi. Cloud Computing

A tecnologia em nuvem oferece suporte dinâmico em qualquer localização, facilitando a System integration fisicamente separados, permitindo um fluxo de dados online, minimizando custos e investimentos em estrutura física.

O armazenamento das informações e dados coletados é realizado em um servidor em nuvem, explorando capacidades de conectividade remota.

Segundo Mourtzis and Vlachou (2018), dois grandes desafios podem desacelerar a adoção da fabricação em nuvem: a qualidade dos serviços e a proteção da propriedade intelectual, levando em consideração a segurança dos dados de cada organização que utiliza desta tecnologia.

#### vii. Additive Manufacturing

Segundo Stock and Seliger (2016), a Additive Manufacturing é uma técnica que auxilia as organizações a fabricar lotes reduzidos de produtos customizados, diminuindo custos em projetos complexos.

Por meio de um software CAD utiliza-se uma impressão 3D para desenvolver um protótipo digital, que na sequência é impresso como um objeto tridimensional físico.

Chen e Lin (2017) mencionam a importância do uso da tecnologia de impressão 3D de maneira a otimizar a fabricação inteligente. A fabricação aditiva também possibilita a fabricação de produtos customizados em prazos reduzidos, aumentando a eficiência do processo e diminuindo os níveis de estoque (Wang, 2016).

#### viii. Amplified Reality

A Amplified Reality (RA) é a integração de elementos ou informações virtuais para visualizações do mundo real através de uma câmera e com o uso de sensores de movimento como giroscópio e acelerômetro.

Ela permite que o usuário tenha a interface com o sistema cyber-físico (CPS) para indicar as instruções e procedimentos para configurar o processo. Ela caracteriza-se como uma das tecnologias capazes de fornecer ferramentas para os usuários realizarem diversas tarefas, facilitando a visualização de dados e interface cibernética, aumentando a produtividade e reduzindo custos nos processos. Ela também promove o desenvolvimento da fabricação inteligente, viabilizando a produção personalizada ou em massa, reduzindo custos adicionais na fabricação.

#### ix. System integration

Processos industriais tradicionais perdem a eficiência em função de problemas de interação que atinge todos os níveis da cadeia produtiva.

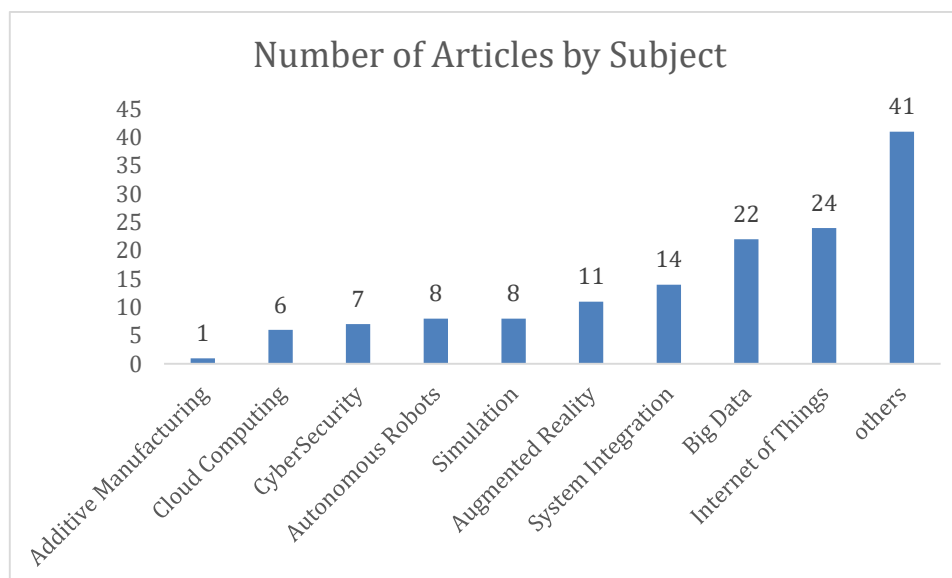
Segundo Fernandez-Carames and Fraga-Lamas (2018), a Integração horizontal e vertical são fundamentais para resolver esse problema, visto que a mesma automatiza a transmissão de dados em fábricas, melhorando a integração entre fornecedores e clientes.

Esse sistema é capaz de fazer uso de fluxos constantes de dados de operações e sistemas de produção. Softwares como Manufacturing Execution System (MES), Product Lifecycle Management (PLM), Enterprise Resource Planning (ERP) ainda terão que evoluir para integrar no nível necessário. Esse cenário de integração de dados apresenta alguns desafios, segundo Fernandez-Carames and Fraga-Lamas (2018):

- A criação de redes para integrar sistemas de produção inteligentes verticalmente, ou seja, onde os dados sejam transmitidos automaticamente da fábrica para outras partes da cadeia de valor;
- A integração horizontal das empresas e clientes para promover a cooperação, criando uma rede rápida e flexível com alta velocidade de resposta;
- A integração das áreas de Design e Engenharia ao longo de toda a cadeia de valor;
- A introdução de novas tecnologias, onde trabalhadores qualificados terão de interagir e serem treinados para usar os Sistemas Cyber Físicos (CPS), alterando a interação tradicional homem-máquina.

#### 3.1.2.1. Análise em relação aos assuntos da Indústria 4.0

Os nove principais conceitos apontados na quarta revolução industrial foram identificados em cada um dos 142 artigos, apresentando a seguinte distribuição mostrada na Figura 7.



**Figura 7.** Contagem de Artigos por Assuntos na Indústria 4.0

Do total das 142 publicações observa-se que 41 são classificadas como outras, englobando revisões sistemáticas sobre a indústria 4.0 e assuntos correlacionados. As demais se distribuem como mostra a Figura 7. Dessas publicações, na categoria "outros", com 29% do total, a publicação que mais se destaca é a intitulada: "On the sustainability of machining processes; proposal for a unified framework through the triple bottom-line from an understanding review" publicada no "Journal of Cleaner Production", com JCR 5,6, em 2017.

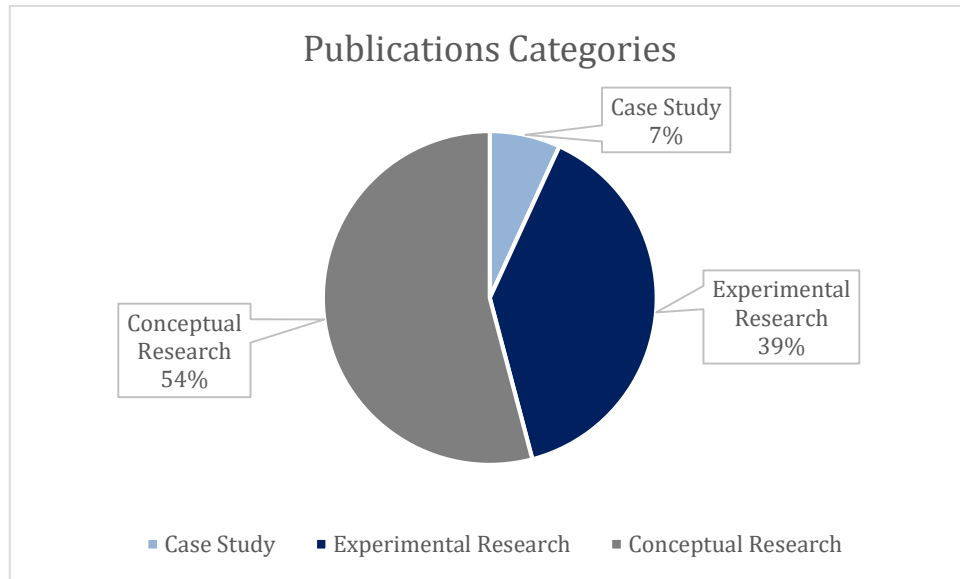
Na sequência, a categoria IoT com 17% do total apresenta uma publicação de destaque (alto JCR) intitulada "The future of industrial communication: automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0" publicada na revista "IEEE Industrial Electronics Magazine" com JCR 10,5, de 2017.

Na terceira principal categoria, "Big Data", com 15% do total de publicações, o principal artigo e Journal são o: "Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0", também publicado no "Journal of Cleaner Production" em 2018.

### 3.1.2.2. Distribuição por Categoria de Pesquisa

Os trabalhos dividem-se em 3 categorias principais: "Conceptual Research", "Experimental Research" and "Case Study". Os artigos categorizados como "Conceptual Research" abrangem trabalhos de revisões bibliográficas, propostas de novas metodologias ou abrangem um tema no nível conceitual. Os artigos classificados como "Experimental Research" incluem trabalhos experimentais, a criação de ferramentas, pesquisas relacionadas às tecnologias da indústria 4.0 envolvendo simulações ou construção de protótipos com tecnologias da indústria 4.0. Os que abordam "Case Study" são estudos em campo que utilizam alguma abordagem da indústria 4.0. A Figura 8 abaixo apresenta a distribuição da classificação indicada sobre os artigos resultantes desta revisão sistemática.





**Figura 8.** Categorias de Pesquisa dos Artigos

Cerca de 54% dos artigos selecionados são pesquisa conceituais. Desses, 10 abordam a IoT como principal tema. Destes, o artigo mais bem avaliado, em função da revista de publicação, é de Wollschlaeger et al. (2017). Experimental Research representa 39% dos trabalhos e os temas mais recorrentes são Big Data e IoT, abrangendo cerca de 21% cada um. Também tem trabalhos como o de Esposito et al. (2018), que apresenta o conceito de uma oficina de pintura para a indústria automotiva baseado nas diretrizes da Indústria 4.0. Os estudos de casos aparecem em apenas 7% dos trabalhos, onde o IoT e a Integração de sistema se destacam quantitativa e qualitativamente.

Buscando extrair as "tendências e sugestões para pesquisas futuras" dos trabalhos selecionados, iniciou-se a leitura de todos os resumos e conclusões dos 142 artigos, além de uma leitura dinâmica do artigo completo.

#### 4.0 Oportunidades de pesquisa na indústria 4.0

Após a leitura dos artigos selecionados, foram identificadas as tendências de pesquisas relacionadas à indústria 4.0. Dos 142 trabalhos, 71 sugeriram temas para pesquisas futuras, dispostos nas tabelas 2, 3 e 4. As tendências foram analisadas de acordo com as categorias "Conceptual Research", "Experimental Research" e "Case Study", que foram conceituadas e aplicadas na seção anterior desta revisão sistemática.

##### **Tabela 2.**

Oportunidade de Pesquisa para categoria "Conceptual Research".

TÍTULO	OPORTUNIDADE DE PESQUISA FUTURA
1. (Wollschlaeger et al., 2017)	A adotar tecnologias e conceitos de IoT em automação.
2. (Esposito et al., 2018)	Apresentar problemas de notificação de eventos resilientes no contexto da Internet of Things.
3. (Peralta Álvarez et al., 2017)	Evidenciar a manufatura sustentável na redução da complexidade, como uma oportunidade para propor soluções mais eficazes e eficientes
4. (Wang et al., 2016)	Avaliar domínios complexos e coordenação de rede multi-sensor.

5. (Jirkovsky et al., 2017) Aplicar as tecnologias de Semântica da Web que oferecem opções interessantes.
6. (Cao et al., 2017) Integrar um ambiente big data, aumentando muito o desenvolvimento de eixos inteligentes.
7. (Ooi et al., 2018) Implementar o Cloud Manufacturing em outros lugares do mundo.
8. (Mittal et al., 2018) Desenvolver um futuro Modelo de Maturidade ou de Indústria 4.0 para pequenas e médias empresas.
9. (Adamson et al., 2017) Controlar operações de equipamentos de fabricação dentro de ambientes distribuídos de CPS
10. (Fraga-Lamas and Fernandez-Carames, 2019) Este trabalho a tecnologias blockchain (para segurança, privacidade e anonimato) na indústria automotiva e sugere pesquisas de escalabilidade, privacidade, segurança e criptografia pós-quântica, introduzindo métodos para descentralizar processos de negócios. Sugere recursos para atender os requisitos de uso de blockchain e o desenvolvimento de padrões, considerando que vários sistemas podem coexistir.
11. (Liboni et al., 2018) Avaliar as principais capacidades dinâmicas ligadas ao conhecimento, gerenciamento de ativos e economia circular.
12. (Luthra and Mangla, 2018) Avaliar a análise de dados (Big Data) em Inovações da Indústria 4.0 a fim de promover um futuro sustentável.
13. (Telukdarie et al., 2018) Desenvolvimento de uma solução global CPS baseada no design desta pesquisa. Desenvolvimento de cenários operacionais e de otimização multinacionais desses sistemas CPS que possam acelerar e validar a otimização de negócios.
14. (Ding, 2018) Comparar trabalhos sobre a indústria 4.0 e sustentabilidade em relação à indústrias como a química, de dispositivos médicos, de cosméticos etc., para aprender sobre sustentabilidade. Além disso, contar com dados do mundo real para ver como aplicar o novo paradigma da quarta revolução versus sustentabilidade na indústria farmacêutica.
15. (Trappey et al., 2017) Avaliar o que é possível e o que é necessário na IoT industrial.
16. (Abele et al., 2017) Apresentar como as fábricas de aprendizagem físicas, digitais e virtuais avançadas podem ser melhoradas através de fábricas híbridas de aprendizagem.
17. (Manavalan and Jayakrishna, 2019) Expor oportunidades para realizar pesquisas adicionais em cadeias de fornecimento sustentáveis, pois ainda está em fase inicial para os requisitos da indústria 4.0.
18. (Longo et al., 2017) Desenvolver capacidades prognósticas, integrando algoritmos sofisticados para monitoramento em tempo real e controle de processos produtivos.
19. (Lin, 2018) Combinar o modelo apresentado com um mecanismo de gerenciamento estratégico para segmentar os sentimentos e experiências dos usuários sobre produtos recém lançados.
20. (Scurati et al., 2018) Validar a intuição dos símbolos em procedimentos reais de manutenção, explorando a conversão de verbos em símbolos.

<b>TÍTULO</b>	<b>OPORTUNIDADE DE PESQUISA FUTURA</b>
21. (Lezzi et al., 2018)	Ampliar o estado da arte apresentado sobre a Cybersecurity na Indústria 4.0 em campo industrial.
22. (Gürdür et al., 2019)	Discutir sobre os desafios da adaptação da análise avançada de dados.
23. (Hofmann and Rüsçh, 2017)	Investigar os efeitos da Indústria 4.0 sobre os aspectos organizacionais, operacionais e estruturas legais das empresas.
24. (Vanderroost et al., 2017)	Analisar a abordagem holística da pesquisa, design e produção de embalagens de alimentos.
25. (Boyes et al., 2018)	Explorar e entender melhor o ecossistema para IoT e o cenário de vulnerabilidades e problemas de segurança.
26. (Oesterreich and Teuteberg, 2016)	Investigar os principais fatores de influência para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 no ambiente de construção civil.
27. (Okorie et al., 2018)	Conceituar uma definição viável para a inteligência digital. Identificar importantes abordagens da economia circular no mundo industrial e a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura a fim de obter resultados estratégicos.
28. (Qian et al., 2017)	Apresentar desvantagens da fabricação inteligente e principais processos de fabricação.
29. (Wang et al., 2018)	No futuro, os sistemas da Ubiquitous Manufacturing (UM) (means: features a "design anywhere, make anywhere, sell anywhere, and at any time") devem entender as intenções e o status de trabalho dos usuários e inferir com as instruções apropriadas para a operação em andamento. Os sistemas devem estar cientes do processo cognitivo dos usuários. A Amplified Reality onipresente é outra direção de pesquisa futura para sistemas UM.
30. (Frazzon et al., 2017)	Pesquisas futuras devem se concentrar na investigação e replicação de descobertas em cenários mais desafiadores, mais próximos do mundo real, como sistemas de produção de oficinas e redes de transporte. Além disso, o fluxo de informações bidirecional entre os processos de produção e transporte e a tomada de decisões automatizada devem ser investigados e estruturados por meio de troca de dados.
31. (Liao et al., 2017b)	Revisar o progresso acadêmico em outras propostas como Internet Industrial ou Fábrica do Futuro e suas comparações.
32. (Lamouri et al., 2017)	Avaliar os benefícios reais obtidos pelas pequenas e médias empresas na exploração de novas tecnologias e suas práticas.
33. (Buer et al., 2018)	Estudar o impacto da Indústria 4.0 nas práticas enxutas e o efeito facilitador da manufatura enxuta nas implementações da Indústria 4.0.
34. (Vogel-Heuser and Ocker, 2018)	Examinar as relações de controladores usados, setor industrial e paradigma de programação.
35. (Chong et al., 2018)	Otimizar processos com o uso de análise estatística.



7. (Grundstein et al., 2017) Estudar a seleção de parâmetros de controle autônomo de processos.  
Avaliar o controle autônomo de processos em estudos de caso industriais.
8. (Zhang et al., 2017) Incorporar a análise de dados no estudo baseado em abordagem digital gêmeos (cópias elaboradas das linhas de produção) para o design individualizado rápido da produção de vidro oco.
9. (Bordel et al., 2018) Avaliar o desempenho da solução de segurança em redes 5G a ser aplicada no domínio intra-fatiado (campo de atuação do algoritmo) em dispositivos microeletrônicos (componentes de hardware considerados a base de futuras soluções de engenharia).
10. (Ding and Lin, 2017) Criar estratégias integradas com um sistema de reconhecimento de sensores Kinect cliente-servidor para imagem 3D.
11. (Cavaliere et al., 2018) Criar plataforma de software capaz de realizar a Interoperabilidade entre os ecossistemas padrões sugeridos pela OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) e pela Fundação Open Connectivity (OCF).
12. (Haller and Genge, 2017) Apresentar projeto de sistemas de detecção de intrusão custo-eficiente e resiliente para sistemas da Indústria 4.0.
13. (Chen et al., 2018) Aprimorar e otimizar o projeto de sistemas robotizados de perfuração de agulha pré-forma e o planejamento da trajetória de superfícies complexas.
14. (Huynh and Chien, 2018) Avaliar a solução de Integração vertical para sistemas produtivos inteligentes.
15. (Pisching et al., 2018) Aplicar a arquitetura RAMI 4.0 (Reference Architectural Model for Industrie 4.0; modelo que padroniza as aplicações da Ind. 4.0) em uma produção com Rede Hierárquica de Equipamentos (HEN) distribuídos entre duas ou mais empresas. Considerar desempenho, tempo de resposta, disponibilidade de serviço e viabilidade de implantação.
16. (Kumar et al., 2019) Investigar a aplicabilidade do cluster sequencial (tipos de algoritmos de agrupamento) baseado em modelo de sinais de sensores de séries temporais para outros equipamentos rotativos.
17. (Bysko et al., 2018) Simular algoritmos de produção em realidades complexas.
18. (Pacaux-Lemoine et al., 2017) Criar experimentos com vários participantes para avaliar o comportamento humano e as interações com máquinas no contexto da Indústria 4.0.
19. (Zheng and Wu, 2017) Pesquisar a interação das relações entre os fornecedores, a fábrica e os clientes para adquirir transparência integrada, flexibilidade e satisfação do cliente.
20. (Preuveneers et al., 2017) Analisar a viabilidade de técnicas de aprimoramento da privacidade em *blockchains* privados.
21. (Goodall et al., 2019) Analisar a inclusão de aspectos logísticos para localizar e recuperar itens para processamento, estendendo a complexidade da lógica de controle e validação dentro da configuração inicial da simulação.

22. (Francalanza et al., 2017) Pesquisar atividades de design de produtos e processos para desenvolver produtos e processos que evoluam de acordo com a capacidade e adaptabilidade do sistema de produção.
- Simular outros cenários industriais (IoT).
23. (Babiceanu and Seker, 2019) Implementar a bancada de testes de IoT industrial com simulações em cenários de resiliência cibernética. Incluir abordagens teóricas para possibilitar um ambiente cibernético de interoperabilidade de fabricação eficiente.
24. (Tufano et al., 2018) Apresentar a Integração do projeto de sistema de produção com o planejamento e distribuição em casos reais.
- Generalizar o método de especificação de uma linguagem de modelagem para a engenharia de PSS (*Product-Service System*), reunindo conhecimentos específicos do domínio do PSS e conceitos de modelagem herdados da modelagem conceitual a fim de reduzir a complexidade dos sistemas de montagem, levando em consideração funcionalidade e facilidade de uso.
25. (Medini and Boucher, 2019)
26. (Making et al., 2018) Analisar modelos estocásticos e o desenvolvimento de novos métodos heurísticos para reduzir tempo de computação do algoritmo para sistemas de larga escala.
27. (Rass et al., 2017) Trabalhar na integração do canal seguro com o Sistema Operacional do Robô em funções de segurança, como o log assinado e a criptografia baseada em hardware.
28. (Ivanov et al., 2016) Otimizar algoritmo para a programação da cadeia de fornecedores de fábricas inteligentes na Indústria 4.0.
29. (Lee et al., 2018) Incorporar inteligência artificial em um sistema de gestão de armazéns com uma abordagem analítica de dados avançada, usando técnicas de inteligência computacional para permitir uma logística inteligente para a Indústria 4.0.
30. (S. Kumar et al., 2018) Abordar de maneira integrada e simultânea o dimensionamento de lotes, os níveis de estoque e o cronograma de manutenção.
31. (Mourtzis et al., 2019) Investigar sistemas e algoritmos para a complexidade da Industry 4.0 para facilitar a sua adoção nas indústrias.
32. (Müller et al., 2018) Analisar as linhas de produção de modelos mistos e múltiplos e a crescente flexibilidade dos robôs com drivers tecnológicos da Indústria 4.0.
33. (Bednar and Rauch, 2019) Verificar representações complexas de produtos personalizados em massa. Desenvolver e ampliar a metodologia de modelagem de montagem em massa criada para reduzir as alterações na complexidade dos sistemas de montagem, levando em consideração a funcionalidade e a facilidade de uso.
34. (Mourtzis et al., 2018) Propor uma metodologia para quantificação da complexidade da personalização de PSS, considerando aspectos da Indústria 4.0 e o desenvolvimento de um software que calcule e visualize os resultados

das métricas, objetivando avaliar as alternativas de PSS em termos de complexidade.

35. (Turner et al., 2016) Padronizar protocolos de comunicação.

A maioria dos trabalhos em que os autores exploram tecnologias e soluções sugere experimentos em cenários produtivos mais complexos ou diferentes, o que indica que o tema ainda demanda ampliação e amadurecimento. Também se contata uma necessidade de padronização de protocolos e linguagens em relação às tecnologias da quarta revolução, que ainda divergem entre autores e áreas, demandando um esforço para buscar uma linguagem universal. As análises convergem para abordagens com fatores controláveis, algoritmos e fatores mensuráveis. Entretanto, também existem oportunidades de pesquisa para incluir fatores subjetivos como: influências política e econômica, condições ambientais e métodos de interação homem-máquina.

A Tabela 4 mostra as tendências de pesquisa para os trabalhos classificados como "Estudos de Caso", porém, somente dois trabalhos foram classificados como puramente "estudo de casos".

**Tabela 4.** Oportunidade De Pesquisa para categoria "Case Study".

TÍTULO	OPORTUNIDADE DE PESQUISA FUTURA
1. (Tumelero et al., 2019)	Avaliar e testar a influência das eco inovações sociais e das eco inovações de marketing no desempenho das empresas. A inter-relação entre eco inovações organizacionais, de produtos e processos, também são demandas eminentes. A biomimética (estudo das estruturas biológicas e de suas funções para promover soluções a partir da natureza e da observação da mesma) também é sugerida para inspirar as eco inovações radicais, verificando como a transformação digital, a Indústria 4.0 e a IoT podem aumentar a eficiência das eco inovações.
2. (Lin et al., 2018)	Estudar, de forma qualitativa, as principais empresas automobilísticas localizadas na China, comparando suas respostas às tecnologias da Indústria 4.0 com outros países. Esse tipo de estudo poderia ser reproduzido por todos os países.

Mesmo os trabalhos que não estão na tabela 3, mas que também apresentaram algum estudo de caso, mostram demanda de aplicação e amadurecimento de suas propostas em outros cenários, como os estudos anteriores. Além disso, segundo Tumelero et al. (2019), algumas sugestões de pesquisa apontam para as ciências ambientais e sua influência em outros campos.

## 5.0 CONCLUSÕES

As definições e desafios em torno da indústria 4.0 são diferentes para cada autor, porém, para a maioria, elas envolvem mudanças que incluem tecnologias (Internet of Things (IoT), Big-Data, Cyber Physical System (CPS), Cloud Computing, Additive Manufacturing e outras) que, em conjunto, servem de alicerce para a revolução tecnológica no processo produtivo, respeitando as individualidades das empresas através de adaptações. O tema relacionado à indústria 4.0 vem crescendo exponencialmente em função da demanda por processos em massa flexíveis, personalizáveis e eficientes. Esse artigo mostra as principais discussões e tendências de pesquisas sobre a indústria 4.0, segundo os artigos mais relevantes publicados em Journals Internacionais de alto impacto. Este estudo se fundamentou em 142 artigos, dos quais passaram por uma leitura dinâmica completa, com detalhamento de seus títulos, resumos e conclusões. As análises mostraram 500 autores que discutem sobre o tema, sendo a grande maioria deles responsáveis pela

autoria de apenas um dos trabalhos, os quais estão distribuídos em 30 Journals, sendo a maioria provenientes do Reino Unido e Holanda. As instituições dos 500 autores se concentram em 42 países, sendo a maioria pertencente à Europa, seguidas dos Continentes Asiático, Americano, Oceânico e Africano. As publicações se distribuem no decorrer dos últimos anos, com forte crescimento a partir de 2016, mostrando um ápice em 2018, com 52% das publicações selecionadas. A tendência aponta um crescimento ainda maior até o final de 2019, visto que este artigo encerrou suas buscas em junho de 2019. Os trabalhos apresentam-se de forma conceitual em praticamente metade deles, o que indica um tema em evolução que demandará muitos estudos práticos relacionados aos conceitos em torno do tema. Os trabalhos experimentais representam a segunda maior parte deles e o restante se enquadram como estudos de casos específicos. Estudos voltados para as pequenas e médias empresas também é uma demanda de análise, assim como a padronização de protocolos internacionais, linguagens e esforços para melhorar o custo-benefício das novas tecnologias nos diferentes cenários produtivos. Também aparecem demandas de pesquisas avançadas em diferentes realidades industriais das já estudadas, considerando a capacidade produtiva e viabilidade técnica para suportar processos mais flexíveis e eficientes. A questão da sustentabilidade é um tema tangencial ao tema, porém, recorrente nos estudos da indústria 4.0, o que mostra uma preocupação com os impactos ambientais após a implantação das tecnologias associadas à quarta revolução industrial. Dos nove conceitos relacionados com indústria 4.0 (Internet of Things, Cloud Computing, System integration, Amplified Reality, Big Data, Autonomous Robot, Simulation, Additive Manufacturing e Cybersecurity), a Internet of Things, o Big Data e a System integration foram os temas mais recorrentes nos trabalhos selecionados. Visto que este trabalho conseguiu identificar 9 assuntos envolvendo tecnologias e inovações industriais inteligentes, recomenda-se outras revisões sistemáticas da literatura focadas em cada um dos 9 temas pertencentes à indústria 4.0 a fim de estreitar a análise de tendências para cada tipo de tecnologia, seus cenários e impactos relacionados à sustentabilidade.

## REFERENCES

- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., Seifermann, S., 2017. Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.* 66, 803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>
- Adamson, G., Wang, L., Moore, P., 2017. Feature-based control and information framework for adaptive and distributed manufacturing in cyber physical systems. *J. Manuf. Syst.* 43, 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.12.003>
- Babiceanu, R.F., Seker, R., 2019. Cyber resilience protection for industrial internet of things: A software-defined networking approach. *Comput. Ind.* 104, 47–58. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.004>
- Bednar, S., Rauch, E., 2019. Modeling and application of configuration complexity scale: concept for customized production. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 100, 485–501. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2659-5>
- Bordel, B., Orue, A.B., Alcarria, R., Sanchez-De-Rivera, D., 2018. An Intra-Slice Security Solution for Emerging 5G Networks Based on Pseudo-Random Number Generators. *IEEE Access* 6, 16149–16164. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2815567>
- Bouzary, H., Frank Chen, F., 2018. Service optimal selection and composition in cloud manufacturing: a comprehensive survey. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 97, 795–808. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1910-4>
- Boyes, H., Hallaq, B., Cunningham, J., Watson, T., 2018. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Comput. Ind.* 101, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.015>
- Buer, S.V., Strandhagen, J.O., Chan, F.T.S., 2018. The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *Int. J. Prod. Res.* 56, 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Bysko, Sara, Krystek, J., Bysko, Szymon, 2018. Automotive Paint Shop 4.0. *Comput. Ind. Eng.* 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.056>
- Cao, H., Zhang, X., Chen, X., 2017. The concept and progress of intelligent spindles: A



- review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 112, 21–52.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2016.10.005>
- Cavaleri, S., Salafia, M.G., Scropo, M.S., 2018. Realising Interoperability Between OPC UA and OCF. *IEEE Access* 6, 69342–69357.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2880040>
- Chen, C., Lin, F., Guan, X., Zhang, N., Shen, X., 2015. Autonomous Channel Switching: Towards Efficient Spectrum Sharing for Industrial Wireless Sensor Networks. *IEEE Internet Things J.* 3, 231–243. <https://doi.org/10.1109/jiot.2015.2490544>
- Chen, X., Zhao, Y., Zhang, C., Wang, X., Chen, L., 2018. Robot needle-punching for manufacturing composite preforms. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 50, 132–139.  
<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.09.008>
- Chong, L., Ramakrishna, S., Singh, S., 2018. A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 95, 2281–2300. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3>
- Ding, B., 2018. Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. *Process Saf. Environ. Prot.* 119, 115–130.  
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.031>
- Ding, I.J., Lin, S.K., 2017. Performance Improvement of Kinect Software Development Kit-Constructed Speech Recognition Using a Client-Server Sensor Fusion Strategy for Smart Human-Computer Interface Control Applications. *IEEE Access* 5, 4154–4162. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2679116>
- Dohale, V., Kumar, S., 2018. A review of literature on benchmarking. *Benchmarking An Int. J.* 10, 176–209. <https://doi.org/10.1108/14635770310477744>
- Esposito, C., Ficco, M., Castiglione, A., Palmieri, F., Lu, H., 2018. Loss-tolerant event communications within industrial internet of things by leveraging on game theoretic intelligence. *IEEE Internet Things J.* 5, 1679–1689.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2782264>
- Fernandez-Carames, T.M., Fraga-Lamas, P., 2018. A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0. *IEEE Access* 6, 25939–25957.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2833501>
- Fraga-Lamas, P., Fernandez-Carames, T.M., 2019. A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. *IEEE Access* 7, 1–1.  
<https://doi.org/10.1109/access.2019.2895302>
- Francalanza, E., Borg, J., Constantinescu, C., 2017. A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems. *Comput. Ind.* 84, 39–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.08.001>
- Frazzon, E.M., Israel, E., Kück, M., Pires, M., Freitag, M., Albrecht, A., 2017. Hybrid approach for the integrated scheduling of production and transport processes along supply chains. *Int. J. Prod. Res.* 56, 2019–2035.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1355118>
- Freeman, C., Louçã, F., 2002. *As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution.* Oxford University Press, Oxford.
- Goodall, P., Sharpe, R., West, A., 2019. A data-driven simulation to support remanufacturing operations. *Comput. Ind.* 105, 48–60.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.11.001>
- Grundstein, S., Freitag, M., Scholz-Reiter, B., 2017. A new method for autonomous control of complex job shops – Integrating order release, sequencing and capacity control to meet due dates. *J. Manuf. Syst.* 42, 11–28.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.10.006>
- Gružauskas, V., Baskutis, S., Navickas, V., 2018. Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *J. Clean. Prod.* 184, 709–717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.302>
- Gürdür, D., El-khoury, J., Törngren, M., 2019. Digitalizing Swedish industry: What is next? *Comput. Ind.* 105, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.011>
- Haller, P., Genge, B., 2017. Using Sensitivity Analysis and Cross-Association for the Design of Intrusion Detection Systems in Industrial Cyber-Physical Systems. *IEEE Access* 5, 9336–9347. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2703906>

- Hofmann, E., Rüsçh, M., 2017. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Comput. Ind.* 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Huynh, N.T., Chien, C.F., 2018. A hybrid multi-subpopulation genetic algorithm for textile batch dyeing scheduling and an empirical study. *Comput. Ind. Eng.* 125, 615–627. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.005>
- Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F., Ivanova, M., 2016. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. *Int. J. Prod. Res.* 54, 386–402. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.999958>
- Jirkovsky, V., Obitko, M., Kadera, P., Marik, V., 2018. Toward Plug&Play Cyber-Physical System Components. *IEEE Trans. Ind. Informatics* 14, 2803–2811. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2794982>
- Jirkovsky, V., Obitko, M., Marik, V., 2017. Understanding data heterogeneity in the context of cyber-physical systems integration. *IEEE Trans. Ind. Informatics* 13, 660–667. <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2596101>
- Kamarul Bahrin, M.A., Othman, M.F., Nor Azli, N.H., Talib, M.F., 2016. INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC. *J. Teknol.* 78, 137–143. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
- Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Gawankar, S.A., 2018. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Saf. Environ. Prot.* 117, 408–425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Kumar, A., Chinnam, R.B., Tseng, F., 2019. An HMM and polynomial regression based approach for remaining useful life and health state estimation of cutting tools. *Comput. Ind. Eng.* 128, 1008–1014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.017>
- Kumar, R., Singh, S.P., Lamba, K., 2018. Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *J. Clean. Prod.* 204, 643–659. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.327>
- Kumar, S., Purohit, B.S., Manjrekar, V., Singh, V., Lad, B.K., 2018. Investigating the value of integrated operations planning: A case-based approach from automotive industry. *Int. J. Prod. Res.* 56, 6971–6992. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1424367>
- Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., Moeuf, A., Pellerin, R., Barbaray, R., 2017. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *Int. J. Prod. Res.* 56, 1118–1136. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1372647>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., Hoffmann, M., 2014. Industrie 4.0. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56, 261–264. <https://doi.org/10.1007/s11576-014-0424-4>
- Lee, C.K.M., Lv, Y., Ng, K.K.H., Ho, W., Choy, K.L., 2018. Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. *Int. J. Prod. Res.* 56, 2753–2768. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592>
- Lezzi, M., Lazoi, M., Corallo, A., 2018. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Comput. Ind.* 103, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.09.004>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F.R., Ramos, L.F.P., 2017a. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55, 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F.R., Ramos, L.F.P., 2017b. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *Int. J. Prod. Res.* 55, 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Liboni, L.B., Liboni, L.H.B., Cezarino, L.O., 2018. Electric utility 4.0: Trends and challenges towards process safety and environmental protection. *Process Saf. Environ. Prot.* 117, 593–605. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.027>
- Lin, D., Lee, C.K.M., Lau, H., Yang, Y., 2018. Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry. *Ind. Manag. Data Syst.* 118, 589–605. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0403>

- Lin, K., 2018. User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. *Comput. Ind. Eng.* 125, 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.023>
- Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., 2017. Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Comput. Ind. Eng.* 113, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>
- Luthra, S., Mangla, S.K., 2018. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Saf. Environ. Prot.* 117, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Making, R.D., Mile, F., Logistics, L.M., Smart, H., Affects, S., Efficiency, E., Supply, H., Solutions, C., 2018. Real-Time Decision Making in First Mile and Last Mile Logistics : How Smart Scheduling Affects Energy Efficiency of Hyperconnected Supply Chain Solutions. <https://doi.org/10.3390/en11071833>
- Manavalan, E., Jayakrishna, K., 2019. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Comput. Ind. Eng.* 127, 925–953. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.030>
- Medini, K., Boucher, X., 2019. Specifying a modelling language for PSS Engineering – A development method and an operational tool. *Comput. Ind.* 108, 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.014>
- Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D., Wuest, T., 2018. A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *J. Manuf. Syst.* 49, 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., Pittaro, P., 2018. Product-service system ( PSS ) complexity metrics within mass customization and Industry 4 . 0 environment 91–103.
- Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., Vlachou, E., 2019. Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study. *Int. J. Prod. Res.* 0, 1–14. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1571686>
- Mourtzis, D., Vlachou, E., 2018. A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance. *J. Manuf. Syst.* 47, 179–198. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.05.008>
- Muhuri, P.K., Shukla, A.K., Abraham, A., 2019. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 78, 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007>
- Müller, C., Grunewald, M., Spengler, T.S., 2018. Redundant configuration of robotic assembly lines with stochastic failures. *Int. J. Prod. Res.* 56, 3662–3682. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1406672>
- Nolin, J., Olson, N., 2016. The Internet of Things and convenience. *Internet Res.* 26, 360–376. <https://doi.org/10.1108/IntR-03-2014-0082>
- Oesterreich, T.D., Teuteberg, F., 2016. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Comput. Ind.* 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Okorie, O., Salonitis, K., Charnley, F., Moreno, M., Turner, C., Tiwari, A., 2018. Digitisation and the circular economy: A review of current research and future trends. *Energies* 11, 1–31. <https://doi.org/10.3390/en11113009>
- Ooi, K.-B., Lee, V.-H., Tan, G.W.-H., Hew, T.-S., Hew, J.-J., 2018. Cloud computing in manufacturing: The next industrial revolution in Malaysia? *Expert Syst. Appl.* 93, 376–394. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.10.009>
- Pacaux-Lemoine, M.-P., Trentesaux, D., Zambrano Rey, G., Millot, P., 2017. Designing intelligent manufacturing systems through Human-Machine Cooperation principles: A human-centered approach. *Comput. Ind. Eng.* 111, 581–595. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.014>
- Pace, P., Aloï, G., Gravina, R., Caliciuri, G., Fortino, G., Liotta, A., 2018. An Edge-based Architecture to Support Efficient Applications for Healthcare Industry 4.0. *IEEE*

- Trans. Ind. Informatics. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2843169>
- Peralta Álvarez, M.E., Marcos Bárcena, M., Aguayo González, F., 2017. On the sustainability of machining processes. Proposal for a unified framework through the triple bottom-line from an understanding review. *J. Clean. Prod.* 142, 3890–3904. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.071>
- Pisching, M.A., Pessoa, M.A.O., Junqueira, F., dos Santos Filho, D.J., Miyagi, P.E., 2018. An architecture based on RAMI 4.0 to discover equipment to process operations required by products. *Comput. Ind. Eng.* 125, 574–591. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.12.029>
- Preuveeners, D., Joosen, W., Ilie-Zudor, E., 2017. Trustworthy data-driven networked production for customer-centric plants. *Ind. Manag. Data Syst.* 117, 2305–2324. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2016-0419>
- Qian, F., Zhong, W., Du, W., 2017. Fundamental Theories and Key Technologies for Smart and Optimal Manufacturing in the Process Industry. *Engineering* 3, 154–160. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.02.011>
- Rass, S., Schartner, P., Kacianka, S., Breiling, B., Dieber, B., Taurer, S., 2017. Security for the Robot Operating System. *Rob. Auton. Syst.* 98, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.09.017>
- Romero, D., Vernadat, F., 2016. Enterprise information systems state of the art: Past, present and future trends. *Comput. Ind.* 79, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.03.001>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., Wulfsberg, J., 2016. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *J. Ind. Eng. Manag.* 9, 811. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Scurati, G.W., Gattullo, M., Fiorentino, M., Ferrise, F., Bordegoni, M., Uva, A.E., 2018. Converting maintenance actions into standard symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0. *Comput. Ind.* 98, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.001>
- Stock, T., Seliger, G., 2016. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP* 40, 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Strozzi, F., Colicchia, C., Creazza, A., Noè, C., 2017. Literature review on the 'smart factory' concept using bibliometric tools. *Int. J. Prod. Res.* 55, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1326643>
- Telukdarie, A., Buhulaiga, E., Bag, S., Gupta, S., Luo, Z., 2018. Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Saf. Environ. Prot.* 118, 316–329. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.030>
- Trappey, A.J.C., Trappey, C. V., Hareesh Govindarajan, U., Chuang, A.C., Sun, J.J., 2017. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. *Adv. Eng. Informatics* 33, 208–229. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.007>
- Tufano, A., Accorsi, R., Garbellini, F., Manzini, R., 2018. Computers in Industry Plant design and control in food service industry . A multi-disciplinary decision-support system. *Comput. Ind.* 103, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.09.007>
- Tumelero, C., Sbragia, R., Evans, S., 2019. Cooperation in R & D and eco-innovations : The role in companies ' socioeconomic performance. *J. Clean. Prod.* 207, 1138–1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.146>
- Turner, C.J., Hutabarat, W., Oyekan, J., Tiwari, A., 2016. Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. *IEEE Trans. Human-Machine Syst.* 46, 882–894. <https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2596099>
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Baets, B., De Meulenaer, B., Verwaeren, J., 2017. The digitization of a food package's life cycle: Existing and emerging computer systems in the pre-logistics phase. *Comput. Ind.* 87, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.02.002>
- Vogel-Heuser, B., Ocker, F., 2018. Maintainability and evolvability of control software in machine and plant manufacturing — An industrial survey. *Control Eng. Pract.* 80, 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.08.007>
- Wang, J., Sun, Y., Zhang, W., Thomas, I., Duan, S., Shi, Y., 2016. Large-Scale Online

- Multitask Learning and Decision Making for Flexible Manufacturing. *IEEE Trans. Ind. Informatics* 12, 2139–2147. <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2549919>
- Wang, X., Ong, S.K., Nee, A.Y.C., 2018. A comprehensive survey of ubiquitous manufacturing research. *Int. J. Prod. Res.* 56, 604–628. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1413259>
- WOLLSCHLAEGER, M., SAUTER, T., JASPERNEITE, J., 2017. The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE Ind. Electronics Mag.* <https://doi.org/10.1037/h0059070>
- Zhang, H., Liu, Q., Chen, X., Zhang, D., Leng, J., 2017. A Digital Twin-Based Approach for Designing and Multi-Objective Optimization of Hollow Glass Production Line. *IEEE Access* 5, 26901–26911. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2766453>
- Zheng, M., Wu, K., 2017. Smart spare parts management systems in semiconductor manufacturing. *Ind. Manag. Data Syst.* 117, 754–763. <https://doi.org/10.1108/IMDS-06-2016-0242>