



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Escola de Minas



JÚLIO CÉSAR MORAIS FERNANDES

**UM ESTUDO DAS TECNOLOGIAS E ARQUITETURAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO
CONTEXTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL E INTELIGENTE**

JOÃO MONLEVADE – MG

2023

JÚLIO CÉSAR MORAIS FERNANDES

**UM ESTUDO DAS TECNOLOGIAS E ARQUITETURAS DA INDÚSTRIA 4.0 NO
CONTEXTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL E INTELIGENTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Linha de Pesquisa: Gerência da Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paula Reis

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Evangelista Silva

JOÃO MONLEVADE – MG

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F363e Fernandes, Julio Cesar Morais.
Um estudo das tecnologias e arquiteturas da I4.0 no contexto da cadeia de suprimentos digital e inteligente. [manuscrito] / Julio Cesar Morais Fernandes. - 2023.
80 f.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Paula Reis.
Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Evangelista Silva.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

1. Cadeia de logística integrada. 2. Indústrias - Indústria 4.0. 3. Cadeia de logística integrada - Inteligência artificial. I. Reis, Luciana Paula. II. Silva, Sérgio Evangelista. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Júlio César Morais Fernandes

Um estudo das tecnologias e arquiteturas da indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos digital e inteligente

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de produção

Aprovada em 13 de junho de 2023

Membros da banca

Dra. Luciana Paula Reis - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Sergio Evangelista Silva - Coorientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. June Marques Fernandes (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Enzo Morosini Frazzon (Universidade Federal de Santa Catarina)

Luciana Paula Reis, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 14/07/2023



Documento assinado eletronicamente por **Luciana Paula Reis, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 14/07/2023, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0558239** e o código CRC **55DCAA4D**.

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente Aquele que é Deus que permitiu que esse sonho tornasse realidade. Porque Dele e por Ele. Para Ele são todas as coisas. Toda honra e toda glória, não somente durante a realização do mestrado, mas em todos os momentos da minha vida em que Ele sempre se fez e faz presente.

A esta universidade, ao corpo docente do PPGEP, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A minha orientadora Profa. Luciana, por ter me desafiado com frentes de pesquisa interessantes dentro da minha área de interesse, pelos incentivos, suporte e correções. Ao meu coorientador Prof. Sérgio, pelos insights, reflexões, pelas suas correções e incentivos.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UFOP. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão o meu eterno agradecimentos.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, em especial à minha esposa Iara que foi paciente durante minha ausência e dedicação a esse estudo. E, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Tente mover o mundo – o primeiro passo será mover a si mesmo.”

(Sócrates e Platão)

RESUMO

A quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (I4.0) é fortemente impulsionada pela transformação digital. E nesse contexto, as empresas dependem cada vez mais de tecnologias da informação e comunicação (TICs) para alavancarem produtividade e competitividade. Este estudo avança na pesquisa sobre Cadeias de Suprimentos Digital e Inteligente (CSDI) que é uma das dimensões da I4.0. Ao considerar o conceito de I4.0, existem poucas pesquisas sobre as questões relacionadas à sua implementação no nível da Cadeia de Suprimentos (CS). Nesse sentido, é explorada a relação entre as tecnologias avançadas da I4.0 e a CSDI. Para estudar essa relação foi escolhido como contexto de estudo uma importante empresa do segmento siderúrgico do Brasil. Nesse contexto, a análise dessa relação foi realizada a partir do seguinte objetivo geral: propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias em prol de uma CSDI a partir da aplicação do modelo *technology roadmap* (TRM), no contexto de uma siderúrgica brasileira. A metodologia utilizada foi o estudo de caso em profundidade e os dados coletados por meio de entrevistas, reunião com grupo focal e workshop. Essa pesquisa apresenta 05 achados: (1) adaptação da arquitetura RAMI4.0 ao contexto da cadeia de suprimentos (artigo 1); (2) foram identificados 03 estágios para adoção das tecnologias da I4.0 no contexto da CSDI: avaliação do status tecnológico da empresa; priorização dos fornecedores parceiros; e, implementação das ações para adoção das tecnologias (artigo 2); (3) a proposição de uma integração de princípios, arquiteturas e tecnologias da I4.0 por meio da elaboração das rotas tecnológicas no modelo TRM (artigo 3); (4) foi observado que diferentes projetos são aplicados especificamente para um determinado grupo de mercadoria (matéria-prima e/ou sobressalente), e, em diferentes etapas da cadeia de suprimentos; (5) um resultado relevante é que o *Enterprise Resource Planing* (ERP) foi considerado o sistema informatizado que relaciona com as demais tecnologias envolvidas em diferentes projetos de aplicação dessas tecnologias. Os achados 4 e 5 foram observados nos três artigos.

ABSTRACT

The fourth industrial revolution, also known as Industry 4.0 (I4.0) is strongly driven by digital transformation. And in this context, companies increasingly depend on information and communication technologies (ICTs) to leverage productivity and competitiveness. This study advances research on Digital and Intelligent Supply Chains (DISC) which is one of the dimensions of I4.0. When considering the concept of I4.0, there is little research on the issues related to its implementation at the Supply Chain (SC) level. In this sense, the relationship between the advanced technologies of I4.0 and DISC is explored. To study this relationship, an important company in the steel industry in Brazil was chosen as the study context. In this context, the analysis of this relationship was carried out based on the following objective: to propose technological routes capable of integrating I4.0 principles, architectures and technologies in favor of a CSDI based on of the application of the technology roadmap (TRM) model, in the context of a Brazilian steel plant. The methodology used was the in-depth case study and data were collected through interviews, focus group meeting and workshop. This research presents 05 findings: (1) adaptation of the RAMI4.0 architecture to the context of the supply chain (article 1); (2) 03 stages were identified for the adoption of I4.0 technologies in the CSDI context: assessment of the company's technological status; prioritization of partner suppliers and implementation of actions for the adoption of technologies (Article 2); (3) the proposition of an integration of I4.0 principles, architectures and technologies through the elaboration of technological routes in the TRM model (article 3); (4) it was observed that different projects are applied specifically for a certain group of goods (raw material and/or spare parts), and, in different stages of the supply chain; (5) a relevant result is that the Enterprise Resource Planning (ERP) was considered the computerized system that relates with the other technologies involved in different projects of application of these technologies. Findings 4 and 5 were observed in the three articles.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
Objetivo Geral	12
Objetivos Específicos	12
Metodologia	12
Estrutura da dissertação	12
CAPÍTULO 2	14
ROTEIRO TECNOLÓGICO PARA ADOÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS INTELIGENTE	14
1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Roteiro de tecnologia	16
2.2 Cadeia de suprimentos inteligente	17
3 METODOLOGIA	19
4 RESULTADOS	20
5 ANÁLISE DE DADOS	24
6 CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	26
CAPÍTULO 3	31
CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE ROTEIRO COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0	31
1 INTRODUÇÃO	31
2 REVISÃO DE LITERATURA	32
2.1 Cadeias de suprimentos digitais	32
2.2 Princípios e construção de arquiteturas da indústria 4.0	33
2.3 Roteiros tecnológicos	34
3 METODOLOGIA	35
4 RESULTADOS	37
4.1 Integração: Princípios, arquiteturas e tecnologias	37
4.2 Rota tecnológica: Integração das tecnologias x arquiteturas x princípios	37
5 CONCLUSÃO	39

REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 4.....	45
APLICAÇÃO DA ARQUITETURA DE REFERÊNCIA RAMI 4.0 NO PURCHASING AND SUPPLY MANAGEMENT (PSM) EM UMA SIDERÚRGICA BRASILEIRA	45
1 INTRODUÇÃO	45
2 REVISÃO DA LITERATURA	48
2.1 Purchasing and Supply Management	48
2.1.1 Uma visão geral do PSM no setor siderúrgico	50
2.2 Arquiteturas de Referência da Indústria 4.0	51
3 METODOLOGIA.....	53
4 RESULTADOS	57
4.1 A função PSM da Siderurgia e os Projetos Estratégicos analisados.....	57
4.2 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão Ciclo de vida do RAMI4.0	58
4.3 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão camadas do modelo de arquitetura RAMI4.0	59
4.4 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão hierarquia de manufatura do modelo de arquitetura RAMI4.0	60
4.1.5 Representação do modelo de arquitetura RAMI4.0	61
5 DISCUSSÕES	63
5.1 Contribuições para a teoria	63
5.2 Contribuições para a prática	64
6 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	66
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS ADICIONAIS	78

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem havido um interesse crescente em compreender o uso das tecnologias de informação e comunicação (TICs) na gestão dos processos da cadeia de suprimentos (CS) (BAIHAQI; SOHAL 2013; PRAJOGO; OLHAGER 2012; LI *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2006). A implementação de TICs na CS pode permitir que uma empresa desenvolva cadeias inteligentes e integradas para alavancar os recursos, conhecer melhor seus fornecedores e clientes, e conseqüentemente aumentar o desempenho da empresa (SCHNETZLER; SCHONSLEBEN 2007; TIPPINS; SOHI 2003).

A cadeia de suprimentos digital e inteligente (CSDI) surge por meio do uso das tecnologias avançadas da Indústria 4.0 (I4.0), no contexto atual de transformação digital (WU *et al.*, 2016; ZHONG *et al.*, 2016). O conceito de CSDI engloba tanto a integração interna quanto externa da empresa. A integração da cadeia de suprimentos (ICS) é definida como o grau em que uma empresa colabora com seus parceiros no sentido de maior fluidez nos fluxos de informação, materiais e financeiro entre seus processos de negócio (ZHANG *et al.*, 2015; FLYNN *et al.*, 2010).

Hermann *et al.*, (2016) definiram 4 dimensões da I4.0, quais sejam: manufatura inteligente, produtos/serviços inteligentes, cadeia de suprimentos inteligente e trabalho inteligente. Para propiciar a digitalização das cadeias de suprimentos, tornando-as mais inteligentes, tem-se um conjunto de tecnologias avançadas como: Internet das Coisas (*Internet of things* - IoT), serviços em nuvem, *big data* e *analytics*, entre outras. Essa tendência na indústria criou o conceito de sistema ciberfísico que consiste em representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais, constituindo-se um avanço da I4.0 (LU, 2017; WANG *et al.*, 2015).

No contexto da adoção dessas tecnologias no âmbito da CSDI, Rakesh *et al.*, (2020) e Nakagawa *et al.*, (2021) ressaltam que ainda faltam diretrizes, arquiteturas ou roteiros para escolher e implementar essas tecnologias avançadas da I4.0. Ainda não é claro o caminho de adoção dessas tecnologias de acordo com os parceiros da cadeia (CAIADO *et al.*, 2022). Também se faz necessário o melhor entendimento sobre a integração de várias tecnologias para maximizar os benefícios para a CSDI. E, a literatura não explora a relação entre princípios, arquiteturas e tecnologias da I4.0. Para trabalhar os *gaps* de literatura apresentados, a presente pesquisa teve como pergunta norteadora: **(1) Quais são as rotas tecnológicas capazes de integrar princípios, arquiteturas e tecnologias da I4.0 em prol de uma CSDI?**

Para responder a estes problemas de pesquisa, o objetivo do estudo foi propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias em prol de uma CSDI a partir da aplicação do modelo *technology roadmap* (TRM), no contexto de uma siderúrgica brasileira. Com o intuito de explorar este objetivo, o estudo foi dividido em três artigos. Os primeiros tiveram como objetivos propor roteiros para a adoção de tecnologias da indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos, e propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias, em prol de uma cadeia de suprimentos digital. Por fim, o terceiro teve como objetivo, caracterizar os projetos de PSM à luz da arquitetura de referência tridimensional RAMI4.0, no contexto de uma siderúrgica brasileira.

Os três artigos apresentados nesse estudo estão estritamente relacionados, de modo que o objetivo geral do trabalho fosse alcançado. Houve um esforço sistemático desde o início da pesquisa, dando continuidade até à estruturação dessa dissertação. A evolução dos roteiros tecnológicos pôde ser percebida quando se compara o primeiro e segundo artigos. No primeiro artigo o roteiro foi mais teórico apresentando a ideia de adoção da I4.0 no contexto da CSDI.

O artigo 1 - *Roadmap for the adoption of smart supply chain* – apresentou uma proposição preliminar de um roteiro tecnológico para implementação de tecnologias avançadas da I4.0 no contexto da CSDI. O artigo foi publicado nos anais do congresso e apresentado virtualmente na - *ECIE 2021, the 16th European Conference on Innovation and Entrepreneurship*. O artigo respondeu as seguintes perguntas de pesquisa: (1) Qual é o nível de integração interna e externa da cadeia de suprimentos?; (2) Quais são as tecnologias usadas atualmente para permitir a integração da cadeia de suprimentos?; e, (3) Como as novas tecnologias inteligentes da cadeia de suprimentos devem ser incorporadas para melhorar o desempenho da organização? Como principal contribuição, este artigo apresentou um método viável para as empresas planejarem estrategicamente seu processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0.

O artigo 2 - *Digital supply chain Roadmap development and application based on Industry 4.0 principles* – apresentou uma proposta de rotas tecnológicas por meio do TRM para implementação das tecnologias avançadas da I4.0 no contexto da cadeia de suprimentos, visando atingir o nível de cadeia de suprimentos digital. O artigo foi publicado nos anais do *22nd World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC)* que acontecerá em Yokohama, Japão em 2023. O gap de pesquisa está na ausência de trabalhos empíricos s/obre o desenvolvimento da I4.0 com diretrizes claras para digitalização das cadeias de suprimentos. E, nesse sentido, o estudo propôs rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias em prol da cadeia de suprimentos digital. Nesse

artigo, avançamos na metodologia *T-Plan* para elaboração do roteiro tecnológico de maneira mais prática. Os roteiros tecnológicos foram estruturados com base no TRM, compreendendo as seguintes camadas: cadeia de suprimentos digital e inteligente, tecnologias, arquitetura tecnológica e competências. Por meio do alinhamento dessas camadas ao longo do tempo foi possível propor diferentes rotas tecnológicas dependendo do objetivo estratégico ou do princípio da I4.0 que se almejava alcançar.

O artigo 3 - Aplicação da arquitetura de referência RAMI 4.0 no PSM em uma siderúrgica brasileira, apresentou o modelo de arquitetura de referência tridimensional *Reference-architecture-model-industry4.0* (RAMI4.0) customizado para o contexto da Cadeia de Suprimentos (CS). O RAMI4.0 é um modelo para aplicações de soluções de conectividade para projetos aderentes a Indústria 4.0, permitindo um ecossistema cibernético de toda cadeia produtiva. O artigo tem como objetivo central caracterizar os projetos de PSM à luz da arquitetura tridimensional RAMI4.0 em relação às dimensões: ciclo de vida, camadas e hierarquia. O gap de literatura desse artigo especificamente, foi notar que a arquitetura RAMI4.0 é adotada no contexto de manufatura, e ao que parece não foi utilizada em cadeias de suprimentos. Por isso as principais contribuições foram a adaptação dessa arquitetura para o contexto do PSM, além da validação empírica da mesma. E, nesse sentido, foi abordado com mais profundidade as arquiteturas tecnológicas. Tais arquiteturas foram mais aprofundadas no segundo artigo ao apresentar a arquitetura RAMI4.0. A arquitetura RAMI4.0 é um modelo para aplicações de soluções tecnológicas e de conectividade para projetos aderentes à I4.0. Dessa forma, os projetos estratégicos explorados nessa pesquisa, foram mais bem compreendidos para que pudessem ser caracterizados na arquitetura RAMI4.0. Os projetos estratégicos foram caracterizados em relação às etapas do ciclo de vida, que foram compreendidas como a subdivisão de PSM, ou seja, compras e almoxarifado; camadas, que foram compreendidas como: mundo físico / integração; informação / comunicação e negócio; e, hierarquia de manufatura, que por sua vez levou em consideração: produto, dispositivos de campo/controlado, estação de trabalho, empresa, e mundo externo/conectado. Também compreendendo os objetivos estratégicos de cada projeto e os princípios aos quais se almejavam alcançar. O segundo artigo serviu de base para a construção do terceiro artigo.

A principal motivação dessa pesquisa foi de explorar os fenômenos da I4.0 na promoção da CSDI. Além de, avaliar os impactos da adoção de novas tecnologias tanto sob a ótica dos profissionais de suprimentos quanto dos fornecedores foi essencial para o sucesso da implementação dessas tecnologias avançadas. Espera-se contribuir com um mapa conceitual das tecnologias da I4.0 na CSDI e na correlação entre teoria e prática empresarial. E dessa

forma, o trabalho contribuirá para os estudos futuros relacionados às CSDI e arquiteturas da I4.0.

Objetivo Geral

Propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias em prol de uma CSDI, no contexto de uma siderúrgica brasileira.

Objetivos Específicos

- Relacionar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias, mapeando a realidade atual dos projetos e levantamento de possibilidades futuras.
- Caracterizar os projetos analisados no âmbito da I4.0 da siderurgia em estudo em relação aos: objetivos, categoria de compra (matéria-prima e sobressalente), princípios da I4.0 almejados e tecnologias incorporadas;
- Caracterizar os projetos em relação à cada uma das dimensões do modelo RAMI4.0, separadamente.

Metodologia

Essa pesquisa adotou a estratégica metodológica de estudo de caso em profundidade, que contemplou reuniões, entrevistas individuais e coletivas com os respondentes, além de workshop para elaboração dos roteiros tecnológicos. Alguns documentos da empresa, a saber, “planejamento estratégico da diretoria de suprimentos 2023 e *roadmap* tecnológico”, foram consultados para coleta de dados. O estudo de caso possibilitou uma compreensão mais completa e complexa do fenômeno da CSDI (YIN, 2015).

Estrutura da dissertação

Essa dissertação foi desenvolvida como *multi-paper dissertation*, ou seja, um formato de pesquisa que consistiu em apresentar três artigos correlacionados. Além dos manuscritos, uma introdução que integra os estudos e um capítulo final de discussão e conclusão foram apresentados.

Nesse sentido são apresentados cinco capítulos. O primeiro refere-se à essa introdução, o segundo, o artigo 1 intitulado: *Roadmap for the adoption of smart supply chain*; já o segundo capítulo refere-se ao artigo 2 - *Digital supply chain Roadmap development and application based on Industry 4.0 principles*. O quarto capítulo é o artigo 3 – Aplicação da arquitetura de referência RAMI 4.0 no PSM em uma siderúrgica brasileira. Por fim, o capítulo 5 apresenta a

discussão e conclusão da pesquisa de modo integrado com a visão dos três artigos. O **Quadro 1** apresenta de forma esquemática o detalhamento dos artigos.

Quadro 1. Detalhamento dos artigos

Capítulos	Artigo 1	Artigo 2	Artigo 3
Capítulos	Aplicação da arquitetura de referência RAMI4.0 no <i>Purchasing and Supply Management (PSM)</i>	Roteiro tecnológico para adoção da cadeia de suprimentos inteligente	Cadeia de suprimentos digital: Desenvolvimento e aplicação de roteiros de tecnologia com base nos princípios da I4.0
Gap de pesquisa	1 - Os estudos da aplicabilidade da arquitetura RAMI4.0, muitas vezes se mostram direcionados para a atividade de manufatura. Ao que parece não existe trabalho que adapte este conceito à área de PSM.	1 - Apesar das vantagens da I4.0 abordadas na literatura existente, os exemplos atuais de implementação empírica na cadeia de suprimentos ainda são escassos.	1 - Há carência de trabalhos empíricos sobre o desenvolvimento da I4.0 com diretrizes claras para digitalização das cadeias de suprimentos.
Questão de Pesquisa	1 - Como caracterizar os projetos de PSM à luz da arquitetura RAMI4.0 em relação às dimensões ciclo de vida (Almoxarifado e Compras), camadas (mundo físico; integração; informação / comunicação e negócio), e hierarquia de manufatura ?	1 - Qual é o nível de integração interna e externa da cadeia de suprimentos? 2 - Quais são as tecnologias usadas atualmente para permitir a integração da cadeia de suprimentos? 3 - Como novas tecnologias inteligentes de cadeia de suprimentos devem ser incorporadas para melhorar o desempenho da organização?	1 - Como integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias, por meio do TRM, em prol de uma cadeia de suprimentos digital?
Objetivo de Pesquisa	1 - Caracterizar os projetos de PSM à luz da arquitetura de referência tridimensional RAMI4.0, no contexto de uma siderúrgica brasileira.	1 - Propor um roteiro para a adoção de tecnologias da indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos.	1 - Propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias, em prol de uma cadeia de suprimentos digital.
Principais Contribuições	1 - O artigo cobre a lacuna da literatura em termos de adaptação da arquitetura RAMI4.0 desenvolvida sob a ótica da manufatura inteligente, para o contexto da smart supply chain no âmbito do PSM.	1 - Apresentação de um método viável para empresas planejarem estrategicamente seu processo de adoção de tecnologias da indústria 4.0.	1 - O artigo apresenta uma validação empírica do desenvolvimento e aplicação do roteiro tecnológico que atinge o nível de cadeia de suprimentos digital.
Limitações	1 - Foram avaliados somente 06 projetos, já pré-definidos pelo departamento de PSM.	1 - Dados coletados apenas no nível do departamento de compras, e o estudo foi explorado em uma única empresa.	1 - Os roteiros tecnológicos foram desenvolvidos com base nas percepções dos profissionais de compras, o que pode introduzir viés e falta de generalização nos resultados.
Trabalhos Futuros	1 - Pesquisas futuras deverão avaliar outros projetos estratégicos aplicados à função PSM para fornecer aos profissionais da área um roteiro ainda mais robusto, a fim de selecionar as estratégias mais apropriadas para a adoção da I4.0 em PSM.	1 - Estudos futuros devem considerar vários entrevistados de diferentes departamentos, além de incorporar a perspectiva dos fornecedores.	1 - Pesquisas futuras deverão avaliar diferentes arquiteturas tecnológicas e incorporar uma visão mais abrangente dos princípios da I4.0.

CAPÍTULO 2

ROTEIRO TECNOLÓGICO PARA ADOÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS INTELIGENTE

Resumo: O paradigma da indústria 4.0 surgiu como um forte guia para a manufatura contemporânea. Apesar do uso dessas tecnologias nos processos de fabricação, as tecnologias da indústria 4.0 também podem ser incorporadas à integração das cadeias de suprimentos, o que é conhecido como *smart supply chain*. Atualmente, existem diversas tecnologias disponíveis dentro do conceito da indústria 4.0, como *blockchain*, internet das coisas, computação em nuvem, big data, entre outras. No entanto, do ponto de vista das empresas, a adoção de tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos é desafiadora, pois pode envolver a reformulação do relacionamento com dezenas ou centenas de parceiros. Em condições reais, todas estas questões devem ser tratadas sob diversas condicionantes como financeiras, temporais, conhecimento de tecnologia, entre outras. Assim, a verdadeira atitude para a adoção das tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos deve começar com a avaliação de diversas questões relacionadas à empresa e seus agentes externos. Este artigo propõe um roteiro para a adoção de tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos por meio de três etapas principais. A primeira compreende a avaliação do estado tecnológico atual da empresa e a avaliação dos próximos passos a serem seguidos em direção à indústria 4.0. A segunda envolve a avaliação e priorização dos parceiros de que a tecnologia definida na primeira etapa será adotada. E a terceira etapa detalha as ações para adoção das tecnologias da indústria 4.0 com cada parceiro priorizado. Este roteiro foi validado em uma empresa durante seu processo de elaboração de um guia para adoção de tecnologias da indústria 4.0 com seus principais parceiros. Considerando que esta empresa possui mais de cem fornecedores, este método parece ser muito útil. Dados documentais e seis profissionais da cadeia de suprimentos foram entrevistados para desenvolver o roteiro e avaliar suas etapas. Este roteiro parece ser uma ferramenta viável e aplicável para apoiar as empresas nos dilemas vividos relacionados a quais tecnologias da indústria 4.0 adotar para integrar suas cadeias de suprimentos e como esse processo pode ser desenvolvido.

Palavras-chave: TRM, *Smart supply chain*, Indústria 4.0, Adoção de tecnologia, Gestão da inovação.

1 INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, também conhecida como indústria 4.0 é um importante tema abordado tanto na indústria quanto no meio acadêmico (LIAO *et al.*, 2017; CHIARELLO *et al.*, 2018). De fato, as tecnologias da indústria 4.0 englobam tecnologias digitais para coletar dados em tempo real e analisá-los, fornecendo informações úteis aos sistemas de fabricação (LEE *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2016). Com o advento da Internet das Coisas (IoT), serviços e armazenamento em nuvem, big data e análise, o conceito do sistema ciberfísico da indústria 4.0 foi criado (WANG *et al.*, 2015; Lu, 2017).

Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente em entender o uso da tecnologia da informação e desses sistemas ciberfísicos no gerenciamento da cadeia de suprimentos (CS) (WU *et al.*, 2006; LI *et al.*, 2009; PRAJOGO e OLHAGER 2012; BAIHAQI e SOHAL 2013). A implementação dessas tecnologias na cadeia de suprimentos contribui para o desenvolvimento da integração da cadeia de suprimentos, que, por sua vez, pode alavancar recursos e conhecimento de fornecedores e clientes levando a um desempenho superior da empresa (TIPPINS e SOHI 2003; SCHNETZLER e SCHÖNSLEBEN 2007). A aplicação dessas tecnologias nas cadeias de suprimentos é capturada no conceito de cadeia de suprimentos inteligente (CSI) (LI, 2020).

A literatura atual sobre as vantagens da indústria 4.0 se concentra mais na aplicação dessas tecnologias no contexto da manufatura e ainda há uma certa pesquisa limitada no contexto da integração da cadeia de suprimentos (MÜLLER, VOIGT, 2018). Por exemplo, Buyukuzkan e Gocer (2018) destacou que, apesar das vantagens da indústria 4.0 abordadas na literatura existente, os exemplos atuais de implementação empírica na cadeia de suprimentos ainda são escassos. Além disso, Scuotto *et al.*, (2017) afirmam que há uma falta de evidências baseadas na colaboração da cadeia de suprimentos por meio do conceito de transformação digital. À medida que a indústria 4.0 avança na cadeia de valor, os parceiros da cadeia de suprimentos precisam integrar pares digitais de suas operações com o objetivo de criar uma rede de suprimentos digital (PARROTT e WARSHAW, 2017), que depende significativamente do alinhamento de TI em toda a cadeia de valor (GHOBAKHLOO e TANG, 2015). Com efeito, o objetivo deste artigo é propor um roteiro para a adoção de tecnologias da indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos, por meio de três etapas principais, a saber: (1) a avaliação do estado tecnológico atual da empresa e a avaliação dos próximos passos a seguir em direção à indústria 4.0; (2) a avaliação e priorização dos parceiros de que a tecnologia definida na primeira etapa será adotada; e (3) o detalhamento das ações para adoção das tecnologias da indústria 4.0 com cada parceiro priorizado. Este *roadmap* foi validado em uma empresa durante um processo de elaboração de um guia para adoção de tecnologias da indústria 4.0 com seus principais parceiros. Esta pesquisa tem como objetivo responder as seguintes questões de pesquisa: (1) Qual é o nível de integração interna e externa da cadeia de suprimentos? (2) Quais são as tecnologias usadas atualmente para permitir a integração da cadeia de suprimentos? (3) Como as novas tecnologias inteligentes da cadeia de suprimentos devem ser incorporadas para melhorar o desempenho da organização?

Como principal contribuição, este artigo apresenta um método viável para as empresas planejarem estrategicamente seu processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0. Este

artigo oferece implicações práticas e teóricas. Na prática, contribui fornecendo um método viável para as empresas planejarem estrategicamente seu processo de adoção de tecnologias da indústria 4.0. Para a teoria, evidencia a importância de avaliar as tecnologias da indústria 4.0 por meio de uma perspectiva holística.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Roteiro de Tecnologia

O *Technology Roadmap* (TRM) é uma técnica que permite à empresa planejar suas estratégias para adoção de novas tecnologias, sendo que o status futuro a ser alcançado é definido com base no atual e nos recursos disponíveis. Nesse sentido, o roteiro estratégico identifica e planeja criteriosamente todas as etapas que precisam ser realizadas, bem como o cronograma e os custos e benefícios associados (GHOBAKHLOO, 2018).

Os roteiros são considerados modelos essenciais para mobilizar as empresas a avaliar diferentes caminhos e desenvolver planos de ação para atingir os objetivos estratégicos (CARITTE *et al.*, 2015). Os roteiros representam métodos utilizados a médio e longo prazo, para orientar o desenvolvimento de novas tecnologias, para atender aos objetivos empresariais, principalmente no contexto da inovação tecnológica (PHAAL *et al.*, 2004; LEE e PARK, 2005; AMADI- ECHENDU *et al.*, 2011). Um roteiro tecnológico ou *roadmap* de tecnologia (doravante *roadmap*) geralmente é composto de três camadas principais (PHAAL *et al.*, 2010). A camada superior inclui fatores determinantes relacionados a tendências, objetivos gerais e demanda de mercado. A camada intermediária inclui fatores determinantes correspondentes às tendências descritas na camada superior, como produtos e serviços a serem desenvolvidos. E por fim, a camada inferior, composta por recursos e tecnologias internas e externas.

Seguindo a estrutura de gestão de tecnologia sugerida por Probert *et al.*, (2000), os roteiros representam uma técnica poderosa para apoiar a gestão e planejamento de tecnologia na empresa. O roteiro é usado para integrar "estratégia de negócios, desenvolvimento de produtos, tecnologia e atividades e ações de P&D" (KAMTSIOU *et al.*, 2015). Um roteiro ajuda no desenvolvimento e implementação de planos de inovação com ênfase na adaptação às mudanças na tecnologia, tendências de mercado, novas oportunidades de negócios, projetos e processos.

Os roteiros também são usados para integração de tecnologia e operação de negócios e planejamento estratégico (PHAAL *et al.*, 2001; SARITAS e AYLEN, 2010; Hsu *et al.*, 2017),

prática de governança e desenvolvimento de tecnologia no negócio (COLLINS *et al.*, 2007; ESSLINGER, 2011; VISHNEVSKIY *et al.*, 2016) e gerenciamento da CS (SUNDARAKANI *et al.*, 2010). Ainda neste sentido, Kappel (2001) e Rinne (2004) destacam que os roadmaps são usados para prever a tecnologia, ferramentas, produtos futuros e identificar oportunidades de vantagem competitiva e sustentabilidade.

Vários roteiros foram desenvolvidos em várias áreas, como manufatura, ciências sociais e da vida, química, indústria de serviços e outras (DAIM e OLIVER 2008; SUH e PARK 2009; ANDRADE COUTINHO 2010). Este estudo dá um passo à frente ao construir um roteiro tecnológico para apoiar a adoção de tecnologias para a implantação de uma CSI.

2.2 Cadeia de Suprimentos Inteligente

A cadeia de suprimentos inteligente surge com o uso de tecnologias da I4.0 e com o crescimento exponencial de dados sensíveis e a disseminação de processos digitalizados (WU *et al.*, 2016; ZHONG *et al.*, 2016). Com o surgimento do modelo de negócios de customização em massa, os modelos produtivos do futuro exigirão reconfiguração e integração de toda a cadeia de suprimentos para melhorar o papel estratégico da função manufatura (TIEN, 2011).

O conceito de cadeia de suprimentos inteligente envolve integração interna e externa. A integração interna reconhece que os departamentos e áreas funcionais (por exemplo, marketing, compras e P&D) dentro da empresa devem funcionar como parte de um processo integrado para acelerar as decisões e aumentar a colaboração (VICKERY *et al.*, 2003; Flynn *et al.*, 2010). A integração externa reconhece a importância de fortalecer os vínculos com outras empresas, estabelecendo relacionamentos próximos e interativos com clientes e fornecedores.

A Indústria 4.0 também considera a troca de informações e a integração da cadeia de suprimentos, sincronizando a produção com os fornecedores para reduzir os prazos de entrega e as distorções de informações que produzem efeitos chicote (IVANOV *et al.*, 2016). Por exemplo, a integração horizontal, suportada por tecnologias inteligentes de cadeia de suprimentos, envolve a troca de informações em tempo real com fornecedores sobre ordens de produção e centros de distribuição (PFOHL *et al.*, 2017). As plataformas digitais atendem a esse requisito, pois fornecem acesso fácil e rápido sob demanda e informações exibidas em nuvem, integrando fornecedores e fabricantes (ANGELES, 2009; PFOHL *et al.*, 2017).

O uso das tecnologias de informação e comunicação (TIC's) pode facilitar os fluxos de informações da cadeia de suprimentos de maneira eficiente e autônoma em relação à disponibilidade de produtos, níveis de estoque, data de remessa e status da produção

(BHARADWAJ, 2000). Também pode ser usado para coordenar o planejamento colaborativo, as previsões de demanda e os cronogramas de produção entre os parceiros da cadeia de suprimentos (OLESEN e MYERS, 1999; CHAE *et al.*, 2005). As principais tecnologias da I4.0 são compostas pelas chamadas novas TICs, que incluem internet das coisas – *internet of things* (IoT), serviços em nuvem, *big data* e *analytics* (WANG *et al.*, 2016a; THOBEN *et al.*, 2017; TAO *et al.*, 2018).

A pesquisa de Ding (2018) revelou que as inovações e tecnologias relacionadas à quarta revolução industrial facilitam a tomada de decisão autônoma para toda a cadeia de suprimentos. Além disso, Machado *et al.*, (2020) identificaram que as novas tecnologias da indústria 4.0 causam um impacto positivo nas cadeias de suprimentos sustentáveis e em todas as dimensões relacionadas à sustentabilidade (por exemplo, sistema de produção circular sustentável e assim por diante), em um sistema integrado.

A Figura 1 apresenta algumas tecnologias avançadas da I4.0 que podem ser implementadas nas cadeias de suprimentos para permitir e alavancar a integração interna (intraorganizacional) e externa (fornecedores e clientes).

Fig 1: Tecnologias I4.0 relacionadas ao CSI.

Tecnologias avançadas aplicadas na cadeia de suprimentos inteligente: mapeadas na literatura

Código	Tecnologias	Aplicação	Referências
T.1	RFID	Acompanhamento e rastreamento de produtos em armazém; Rastreamento de estoque em tempo real.	(Wu <i>et al.</i> , 2016); (Zhang <i>et al.</i> , 2018);
T.2	Big Data, AI and Analytics	Reduzir os custos do canal; aumentar os níveis de eficiência da cadeia de suprimentos e agregar valor econômico ao satisfazer as necessidades em constante mudança dos clientes.	(Choi <i>et al.</i> , 2018); (Giannakis e Louis, 2016); (Choi, 2018, Zhan e Tan, 2020); Arunachalam <i>et al.</i> (2018), Govindan <i>et al.</i> (2018), Sanders e Ganeshan (2019), Baryannis <i>et al.</i> (2019), Chung <i>et al.</i> (2020), e Kraus <i>et al.</i> (2020)
T.3	IoT	Produtos inteligentes e conectados; Comunicação móvel, inteligência adaptativa e aprendizado de máquina.	Porter e Heppelmann (2014) (Dong, Mingyue, e Guoying, 2017); (Manavalan, E.; Jayakrishna, K. 2019)
T.4	Cloud	Fácil acesso sob demanda às informações exibidas em nuvem, integrando fornecedores e fabricantes.	(Pfohl <i>et al.</i> , 2017; Angeles, 2009); (Tao <i>et al.</i> , 2018a; Thoben <i>et al.</i> , 2017; Wang <i>et al.</i> , 2016a). (Bifulco <i>et al.</i> 2018); (Barile <i>et al.</i> 2018).
T.5	Blockchain	Informações e transações visíveis e transparentes; Compliance; Contrato inteligente; autenticidade, confiança e segurança, redução de custos, desintermediação, operações eficientes e desperdício reduzido; Gerenciamento de riscos; confidencialidade, privacidade, garantia de integridade.	(Cole <i>et al.</i> , 2019); (Francisco e Swanson, 2018); (Dwivedi <i>et al.</i> , 2020); (Li <i>et al.</i> , 2019a); (Philipp <i>et al.</i> , 2019; Gurtu e Johnny, 2019); (Liu <i>et al.</i> , 2019). (Mackey <i>et al.</i> , 2019; Yi, 2019)

Fonte: (Elaboração própria)

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou a estratégia de estudo de caso em uma empresa siderúrgica. Yin (1981) afirma que os estudos de caso permitem o estudo de um determinado fenômeno em um contexto da vida real, especialmente quando os limites entre um fenômeno e seu contexto não são evidentes. O estudo de caso único Siggelkow (2001) nos permitiu explorar os fenômenos emergentes da implementação da indústria 4.0 em toda a cadeia de suprimentos. A escolha da empresa foi deliberada por estar digitalizando suas operações para gerar valor ao cliente e ao negócio em geral. O contexto escolhido permitiu verificar o nível de integração interna e externa da cadeia de suprimentos e mapear as tecnologias utilizadas que possibilitam essa integração.

A coleta de dados baseou-se principalmente em entrevistas semiestruturadas com seis profissionais da equipe de compras/compras da empresa. Os participantes selecionados para as entrevistas são responsáveis pelos processos de compras em geral, que incluem as seguintes atividades: negociação, gestão de almoxarifado e inteligência de sistemas que auxiliam na digitalização das atividades do departamento de Compras.

As entrevistas foram essenciais para o entendimento de futuros projetos estratégicos quanto à adoção de novas tecnologias e ferramentas de trabalho a serem implementadas a curto, médio e longo prazo na empresa. Outras fontes de informações foram extraídas do ERP da empresa, como relatórios de movimentação de compras e documentos internos, como normas e procedimentos do departamento. Na Figura 2 abaixo, é apresentada uma visão geral dos participantes entrevistados.

Fig. 2 Visão geral dos entrevistados

Profissionais entrevistados nesta pesquisa				
	Cargo	Tempo de empresa	Principais responsabilidades	Duração das entrevistas
1	Supervisor de Almoxarifado	+ 5 anos	Gestão e controle das operações do armazém.	70 min
2	Analista de Inteligência de Suprimentos	+ 10 anos	Gestão de sistemas de informação.	45 min
3	Analista de Inteligência de Suprimentos	+ 5 anos	Gestão de sistemas de informação.	45 min
4	Analista de compras	+ 10 anos	Negociação e gestão de suprimentos.	40 min
5	Analista de compras	2 anos	Negociação e gestão de suprimentos.	40 min
6	Analista de projetos	2 anos	Melhoria contínua e gerenciamento de projetos.	60 min

Os dados foram coletados e analisados de acordo com um protocolo pré-definido. Foram feitas as seguintes perguntas aos entrevistados: Figura 3.

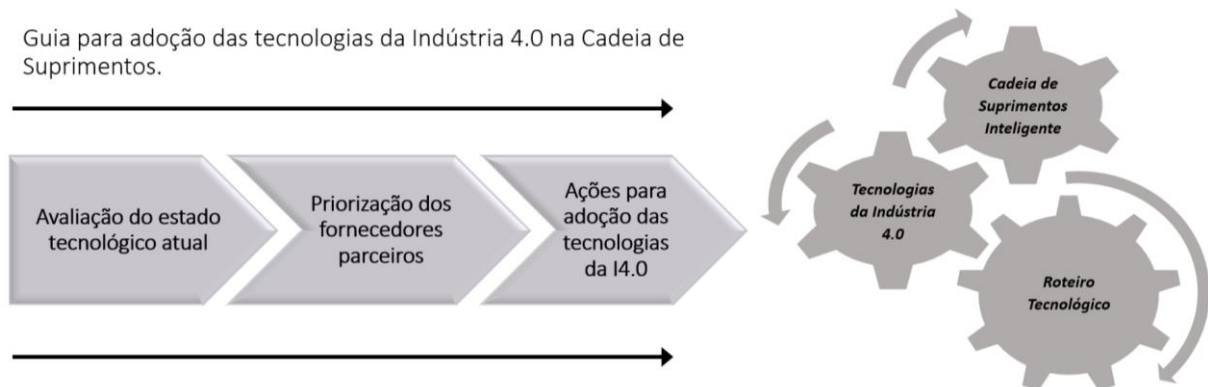
Fig. 3 Perguntas da entrevista.

	Perguntas para entrevista	Respondentes
1	Quais tecnologias estão disponíveis para integrar a cadeia de suprimentos de uma perspectiva interna (departamentos)?	Analista de compras
2	Quais tecnologias estão disponíveis para integrar a cadeia de suprimentos de uma perspectiva externa (fornecedores)?	Analista de compras
3	Qual tecnologia avançada seria mais viável para implementação?	"Analista de Inteligência de Suprimentos; Supervisor de Armazém; e analista de projetos"

4 RESULTADOS

Nossas descobertas sugerem que a adoção de tecnologias da I4.0 no contexto da cadeia de suprimentos inteligente compreende três estágios, como pode ser visto na Figura 4 abaixo. As três etapas serão explicadas em detalhes a seguir com base no presente estudo de caso.

Fig. 4 Etapas para adoção das tecnologias da Indústria 4.0 rumo à CSI.



Na primeira etapa - avaliação do estado tecnológico atual - obtivemos os seguintes resultados de acordo com a Tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Tecnologias utilizadas no contexto da pesquisa.

Categorias	Dispêndio	N° de Fornecedores	Tecnologias atualmente disponíveis para Integração da Cadeia de Suprimentos	
			Integração Interna (intraorganizacional)	Integração Externa (fornecedor)
Energia	35,10%	186	Microsoft 365; ERP.	Outlook 365; ERP
Materia prima	28,89%	25	Microsoft 365; ERP.	Outlook 365; ERP
Outros	19,63%	48	Microsoft 365; ERP.	Outlook 365; ERP; SRM.
Sobressalentes	16,35%	730	Microsoft 365; ERP; Power BI; Mobile; QR Code.	Microsoft 365; ERP; SRM (Plataforma Digital).

Outra informação adicional nesta primeira tabela foi a categorização dos fornecedores por grupo de materiais. Essa categorização auxiliou na análise e tomada de decisões para as próximas etapas.

Na segunda etapa - avaliação e priorização de parceiros - levamos em consideração o grupo de fornecedores de peças de reposição. Isso porque, nessa categoria, os processos estão mais inclinados ao uso de tecnologias para realizar cotações e fazer pedidos, como, por exemplo, o uso de plataforma digital para recebimento de cotações. Além disso, a complexidade dessa categoria em termos de interações é maior do que nas demais. Observe o número de ordens de compra que são consideravelmente maiores. Nesse sentido, espera-se um maior nível de adoção de tecnologias avançadas.

A Tabela 2 mostra as informações relevantes que consideramos no contexto desta pesquisa para proceder à priorização dos parceiros e avançar para a próxima etapa. Essas informações foram extraídas do sistema ERP da empresa e tem como referência o ano de 2020.

Tabela 2: Visão geral da categoria de fornecedores.

Categoria de material	Interações com fornecedores		Complexidade		Ganhos com a adoção das tecnologias da indústria 4.0
	Nº de fornecedores	Nº de ordens/ano	Fluxo de informação	Variabilidade	
Fornecedores de Energia	186	6316	Padronizado	Padronizado	Controle Operacional
Fornecedores de Materia prima	25	280	Padronizado	Padronizado	Controle Operacional
Fornecedores de outros materiais	48	5422	Padronizado	Padronizado	Controle Operacional
Fornecedores de Sobressalentes	730	61704	Ad-hoc	Alta	Rastreabilidade; memória; controle de custo; padronização; previsibilidade.

Na terceira etapa - as ações para adoção das tecnologias da indústria 4.0 - avaliamos quais tecnologias eram mais viáveis para adoção. Portanto, o grupo de produtos avaliado compreendeu (*Analytics, Cloud, IoT, RFID, Blockchain*). Os critérios de avaliação das tecnologias da indústria 4.0 exploradas nesta pesquisa foram: (benefícios, desafios, riscos, impactos, viabilidade e custos). A Tabela 3 é mostrada abaixo, e os dados explicados abaixo.

Tabela 3: Priorização de tecnologia com base no contexto da pesquisa.

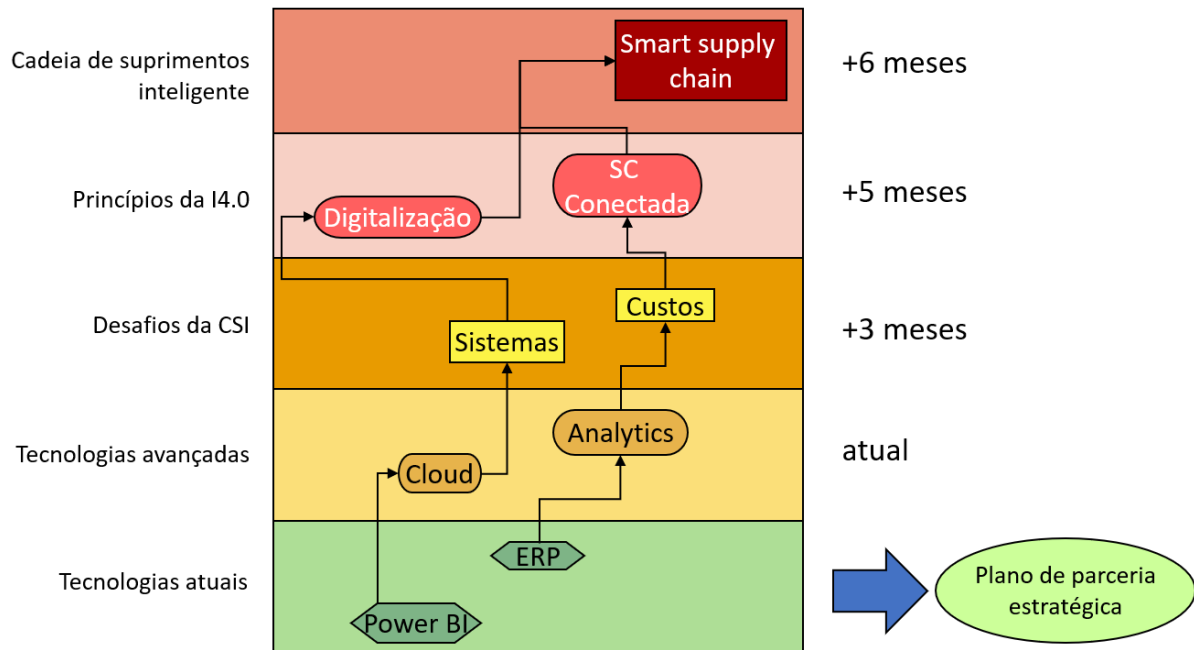
	Tecnologias da indústria 4.0					
	Analytics	Cloud	RFID	IoT	Blockchain	
Benefícios	3	4	2	5	1	< melhor
Desafios	2	1	3	4	5	< melhor
Riscos	2	1	3	4	5	< melhor
Impactos	2	1	3	4	5	< melhor
Viabilidade	2	1	3	4	5	< melhor
Custos	2	1	5	4	3	< melhor
Total	2,17	1,50	3,17	4,17	4,00	

*Os benefícios têm a escala invertida.

Para a elaboração desta tabela, consideramos notas de 1 a 5 comparativamente para cada critério apresentado versus tecnologia. E quanto menor a nota, melhor. Para facilitar o raciocínio do cálculo, o primeiro critério: “benefícios” teve sua escala invertida, ou seja, quanto menor a pontuação, maior o benefício. Para os demais critérios, quanto menor a pontuação, melhor. Assim, a média total das notas seguiu a mesma escala. Quanto menor a nota média final, mais viável se torna a adoção da tecnologia avançada da indústria 4.0.

Por fim, foi desenvolvido um *roadmap* tecnológico para adoção das tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos da empresa. Este foi o principal resultado e contribuição deste estudo. A proposta de implementação das tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos por meio do TRM proposto é expressa na Figura 5 abaixo:

Fig. 5 TRM proposto rumo à CSI.
TRM para uma cadeia de suprimentos inteligente



O TRM para adoção de tecnologias da indústria 4.0 foi estruturado da seguinte forma:

- A camada superior está relacionada ao estado futuro a ser alcançado. No caso deste estudo, alcançar o grau de cadeia de suprimentos inteligente;
- A terceira camada apresenta os principais desafios a serem enfrentados para a adoção das tecnologias da indústria 4.0;
- A segunda camada corresponde aos produtos e serviços a serem desenvolvidos onde existem as tecnologias “cloud” e “analytics”;
- Por fim, a camada inferior é composta pelos recursos internos e externos e pelas tecnologias atualmente disponíveis para a empresa.

O *roadmap* tecnológico auxilia na estruturação, desdobramento e estabelecimento da visão de futuro da empresa em relação à adoção de novas tecnologias e nossos resultados indicam que a implementação de tecnologias de “cloud computing” e “analytics” deve ser priorizada devido a sua proximidade com as atuais tecnologias disponíveis. Além disso, observou-se que algumas tecnologias da indústria 4.0 são mais viáveis que outras devido ao critério de “custos” *versus* “complexidade”.

Um aspecto importante que foi levado em consideração para a adoção do modelo de cadeia de suprimentos inteligente foi a priorização da categoria “peças de reposição”, já que nesta categoria o número de fornecedores e pedidos de compra é consideravelmente maior em comparação com as outras categorias. E nessa categoria específica, as transações de compras,

assim como as cotações, são realizadas por meio da plataforma digital (módulo SRM - *Supplier Relationship Management* – ERP), o que facilita a adoção de novas tecnologias e práticas de desempenho. Curiosamente, esta é a categoria que menos consome recursos financeiros na relação da empresa com a cadeia de suprimentos.

5 ANÁLISE DE DADOS

Os resultados indicam duas soluções tecnológicas, nomeadamente: “*cloud*” e “*analytics*” que são mais viáveis e mais rápidas de implementar dada a proximidade às tecnologias já disponíveis na maioria das empresas. A computação em nuvem possui ótima interface com as tecnologias planejadas para implementação em curto prazo na empresa estudada. O *analytics* está sendo implementado para lidar com estoques virtuais entre diferentes unidades de negócios e, a médio prazo, deve abranger vários fornecedores.

A relação entre a evolução das tecnologias atuais, por exemplo: “*Power BI*” e “ERP” para alinhamento tecnológico para viabilizar cadeia de suprimentos inteligente já foi abordada em alguns estudos e principalmente por empresas que desenvolvem tais tecnologias. O *Microsoft Power BI*, por exemplo, é uma ferramenta de *Business Intelligence* (BI) descrita pela Microsoft como "uma solução de análise de negócios que permite visualizar seus dados e compartilhar insights em sua organização ou incorporá-los em seu aplicativo ou site" (Microsoft Corporation, 2018). Neste sentido, a aplicação de BI deixou de ser apenas uma ferramenta visual para passar a analisar dados que suportam a tomada de decisão das empresas.

Em relação ao caminho e à evolução do ERP, Mohammad, *et al.*, (2014) sugerem a padronização das principais funcionalidades do ERP como um serviço de nuvem. Essa padronização pode fornecer funcionalidade básica padronizada e personalizada. Outros autores também sugeriram esse alinhamento do ERP para nuvem e os principais servidores de nuvem atualmente já disponibilizam esse serviço no mercado.

IoT e RFID já foram mapeados e devem ser implementados em médio prazo devido ao custo maior em comparação com computação em nuvem e *analytics*. Existe uma grande expectativa em torno da adoção dessas tecnologias para possibilitar a rastreabilidade de itens, principalmente aqueles de grande porte e considerados mais caros, como por exemplo, motores e rolamentos de grande porte e valor agregado.

O *blockchain*, por sua vez, apresenta uma grande oportunidade em termos de transparência de custos na cadeia de suprimentos, contratos inteligentes e aprovação digital de fornecedores. No entanto, é necessário encontrar uma plataforma específica que possa

contribuir para o desempenho do negócio. Vale ressaltar que a segurança da informação é uma preocupação importante relacionada a essa tecnologia.

6 CONCLUSÃO

Este estudo exploratório foi desenvolvido com o objetivo de propor uma estrutura (processo) de três estágios para adoção de tecnologias da I4.0 em toda a cadeia de suprimentos. Essas etapas, ao mesmo tempo em que identificam o estado tecnológico atual da cadeia de suprimentos, também destacam o modelo de priorização do grupo de parceiros para continuar com a adoção de tecnologias avançadas na cadeia de suprimentos.

O objetivo deste estudo foi contribuir metodologicamente e teoricamente para a adoção de tecnologias avançadas da I4.0 na cadeia de suprimentos. Do ponto de vista metodológico, este estudo propõe um roteiro tecnológico detalhado. Portanto, o estudo contribui para pesquisas sobre a cadeia de suprimentos digital (SCUOTTO *et al.*, 2017; BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018), além de aumentar o entendimento sobre as tecnologias da indústria 4.0 nas cadeias de suprimentos. A evidência empírica do estudo mostrou que o TRM oferece muitas oportunidades para as organizações apoiarem tecnologias avançadas na cadeia de suprimentos.

A estrutura proposta pode fornecer insights para empresas que buscam vantagens do conceito de indústria 4.0 em todos os parceiros da cadeia de suprimentos. O TRM proposto também destaca a importância dos critérios de integração interna e externa, na adoção bem-sucedida de iniciativas inteligentes em SC. Este estudo também destaca a importância de expandir o escopo da equipe, incluindo especialistas em dados e sistemas que possam alavancar o conhecimento externo das organizações. Finalmente, este estudo também fornece um modelo básico para pesquisadores e empresas, para testar e expandir o TRM em diferentes segmentos da indústria e regiões geográficas.

Como em outros estudos exploratórios, existem algumas limitações neste estudo que abrem oportunidades para pesquisas futuras. Primeiro, os dados foram coletados apenas no nível do departamento de compras. Em segundo lugar, explorar uma única empresa com base nas percepções dos profissionais de compras pode introduzir viés e falta de generalização nos resultados. Estudos futuros podem explorar empresas e múltiplos respondentes de diferentes departamentos, além de incorporar a perspectiva dos fornecedores. Por fim, este estudo explora a adoção de tecnologias da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos internamente, o que abre oportunidades para expandir o modelo teórico deste estudo para fornecedores parceiros visando melhorar sua integração externa.

REFERÊNCIAS

ABBASI, M.; VASSILOPOULOU, P.; STERGIOULAS, L. Technology roadmap for the Creative Industries. *Creative Industries Journal*, v. 10, n. 1, p. 40-58, 2017.

AMADI-ECHENDU, J.; LEPHAUPHAU, O.; MASWANGANYI, M.; MKHIZE, M. Case studies of technology roadmapping in mining. *Journal of Engineering and Technology Management*, v. 28, n. 1-2, p. 23-32, 2011.

BAIHAQI, I.; SOHAL, A. S. The impact of information sharing in supply chains on organisational performance: an empirical study. *Production Planning & Control*, v. 24, n. 8-9, p. 743-758, 2013.

BHARADWAJ, A. S. A resource-based perspective on information technology capability and firm performance: an empirical investigation. *MIS Quarterly*, p. 169-196, 2000.

BÜYÜKÖZKAN, G.; GÖÇER, F. Digital supply chain: literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, v. 97, p. 157-177, 2018.

CARITTE, V.; ACHA, S.; SHAH, N. Enhancing corporate environmental performance through reporting and roadmaps. *Business Strategy and the Environment*, v. 24, n. 5, p. 289-308, 2015.

CHAE, B.; YEN, H. R.; SHEU, C. Information technology and supply chain collaboration: Moderating effects of existing relationships between partners. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 52, n. 4, p. 440-448, 2005.

CHIARELLO, F.; TRIVELLI, L.; BONACCORSI, A.; FANTONI, G. Extracting and mapping industry 4.0 technologies using wikipedia. *Computers in Industry*, v. 100, p. 244-257, 2018.

COLLINS, E.; LAWRENCE, S.; PAVLOVICH, K.; RYAN, C. Business networks and the uptake of sustainability practices: the case of New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 8-9, p. 729-740, 2007.

DAIM, T. U.; OLIVER, T. Implementing technology roadmap process in the energy services sector: A case study of a government agency. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 75, n. 5, p. 687-720, 2008.

DING, B. Pharma industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 119, p. 115-130, 2018.

DWEIB, M.; ABUZIR, Y.; RABAY'A, A. Standard for ERP as cloud computing. *ARNP Journal of Science and Technology*, v. 4, n. 7, p. 427-432, 2014.

- ESSLINGER, H. Sustainable design: Beyond the innovation-driven business model. *Journal of Product Innovation Management*, v. 28, n. 3, p. 401-404, 2011.
- FLYNN, B. B.; HUO, B.; ZHAO, X. The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. *Journal of Operations Management*, v. 28, n. 1, p. 58-71, 2010.
- GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, [s. l.], [s. d.].
- HSU, C. W.; TUNG, C. M.; LIN, C. Y. Industrialization roadmap model for fermentative hydrogen production from biomass in Taiwan. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 42, n. 45, p. 27460-27470, 2017.
- IVANOV, D. et al. A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0. *International Journal of Production Research*, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.
- KAPPEL, T. A. Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *Journal of Product Innovation Management*, v. 18, n. 1, p. 39-50, 2001.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18-23, 2015.
- LEE, S.; PARK, Y. Customization of technology roadmaps according to roadmapping purposes: Overall process and detailed modules. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 72, n. 5, p. 567-583, 2005.
- LI, X. Reducing channel costs by investing in smart supply chain technologies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 137, p. 101927, 2020.
- LIAO, Y. et al. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.
- LU, Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.
- MACHADO, C. G.; WINROTH, M. P.; RIBEIRO DA SILVA, E. H. D. Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, v. 58, n. 5, p. 1462-1484, 2020.
- MESQUITA, L. F.; ANAND, J.; BRUSH, T. H. Comparing the resource-based and relational views: knowledge transfer and spillover in vertical alliances. *Strategic Management Journal*, v. 29, n. 9, p. 913-941, 2008.

MICROSOFT CORPORATION. What is Power BI. 2018. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/en-us/what-is-power-bi/>. Acesso em: 03 abr. 2021.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 132, p. 2-17, 2018.

OLESEN, K.; MYERS, M. D. Trying to improve communication and collaboration with information technology: an action research project which failed. *Information Technology & People*, [s. l.], [s. d.].

PARROTT, A.; WARSHAW, L. Industry 4.0 and the digital twin. Deloitte University Press, p. 1-17, 2017.

PFOHL, H. C.; YAHSI, B.; KURNAZ, T. Concept and diffusion-factors of industry 4.0 in the supply chain. In: *DYNAMICS IN LOGISTICS*. [S. l.]: Springer, Cham, 2017. p. 381-390.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J.; PROBERT, D. R. Roadmapping for strategy and innovation: aligning technology and markets in a dynamic world. *Institute for Manufacturing*, [s. l.], [s. d.].

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 71, n. 1-2, p. 5-26, 2004.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.; PROBERT, D. Technology Roadmapping: linking technology resources to business objectives. *Centre for Technology Management, University of Cambridge*, p. 1-18, 2001.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, v. 92, n. 11, p. 64-88, 2014.

PRAJOGO, D.; OLHAGER, J. Supply chain integration and performance: The effects of long-term relationships, information technology and sharing, and logistics integration. *International Journal of Production Economics*, v. 135, n. 1, p. 514-522, 2012.

RINNE, M. Technology roadmaps: Infrastructure for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 71, n. 1-2, p. 67-80, 2004.

SARITAS, O.; AYLEN, J. Usando cenários para elaboração de roadmaps: O caso da produção limpa. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 77, n. 7, pp. 1061-1075, 2010.

SIGGELKOW, N. Mudança na presença de adequação: a ascensão, a queda e o renascimento da Liz Claiborne. *Academy of Management Journal*, v. 44, n. 4, pp. 838-857, 2001.

SUH, J. H.; PARK, S. C. Roadmap tecnológico orientado a serviços (SoTRM) usando mapa de patentes para estratégia de P&D na indústria de serviços. *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 3, pp. 6754-6772, 2009.

SUNDARAKANI, B. et al. Uma cadeia de suprimentos verde sustentável para redes globalmente integradas. In: *Redes empresariais e logística para manufatura ágil*. London: Springer, 2010, pp. 191-206.

TAO, F. et al. Projeto de produto, manufatura e serviço orientados por gêmeos digitais com big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 94, n. 9, pp. 3563-3576, 2018.

THOBEN, K. D.; WIESNER, S.; WUEST, T. “Industrie 4.0” e manufatura inteligente - uma revisão de questões de pesquisa e exemplos de aplicação. *International Journal of Automation Technology*, v. 11, n. 1, pp. 4-16, 2017.

TIEN, J. M. Manufatura e serviços: da produção em massa à customização em massa. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, v. 20, n. 2, pp. 129-154, 2011.

VASCONCELOS LOUREIRO, A. M.; BORSCHIVER, S.; DE ANDRADE COUTINHO, P. L. O método de elaboração de roadmaps tecnológicos e seu uso na química. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 5, n. 3, pp. 181-191, 2010.

VICKERY, S. K. et al. Os efeitos de uma estratégia integradora de cadeia de suprimentos no atendimento ao cliente e no desempenho financeiro: análise das relações diretas e indiretas. *Journal of Operations Management*, v. 21, n. 5, pp. 523-539, 2003.

VISHNEVSKIY, K.; KARASEV, O.; MEISSNER, D. Roadmaps integrados para gestão e planejamento estratégico. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 110, pp. 153-166, 2016.

WANG, L.; TÖRNGREN, M.; ONORI, M. Estado atual e avanço dos sistemas ciberfísicos na manufatura. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 37, pp. 517-527, 2015.

WANG, S. et al. Rumo à fábrica inteligente para a indústria 4.0: um sistema multiagente auto-organizado com base em feedback e coordenação de big data. *Computer Networks*, v. 101, pp. 158-168, 2016.

WU, F. et al. O impacto da tecnologia da informação nas capacidades da cadeia de suprimentos e no desempenho da empresa: uma visão baseada em recursos. *Industrial Marketing Management*, v. 35, n. 4, pp. 493-504, 2006.

YIN, R. K. O estudo de caso como uma estratégia de pesquisa séria. *Knowledge*, v. 3, n. 1, pp. 97-114, 1981.

ZHANG, L. H.; LI, T.; FAN, T. J. Adoção de identificação por rádio frequência (RFID) com deslocamento de estoque sob concorrência no varejo. *European Journal of Operational Research*, v. 270, n. 3, pp. 1028-1043, 2018.

ZHONG, R. Y. et al. Big Data para gestão da cadeia de suprimentos nos setores de serviços e manufatura: Desafios, oportunidades e perspectivas futuras. *Computers & Industrial Engineering*, v. 101, pp. 572-591, 2016.

CAPÍTULO 3

CADEIA DE SUPRIMENTOS DIGITAL: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE ROTEIRO COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

Resumo: O presente estudo propõe rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da Indústria 4.0 (I4.0), arquiteturas e tecnologias, em prol de uma cadeia de suprimentos digital. Este estudo foi realizado em uma empresa do segmento siderúrgico que está adotando tecnologias da I4.0 para promover melhorias em seu processo de gestão. Foram entrevistados doze profissionais do setor de suprimentos e inteligência. A partir dos dados coletados foi possível desenhar o mapa das rotas tecnológicas que serve de orientação para gestores implementarem em seus processos essas tecnologias da I4.0.

Palavras chaves: Cadeia de suprimentos digital, roteiro tecnológico, princípios da indústria 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A nova era digital impulsionada pela quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (I4.0) tem sido marcada pelo surgimento de inovações tecnológicas com diversas aplicações no contexto das empresas. Tais inovações podem ser observadas na digitalização das operações de maneira geral e, sobretudo, no gerenciamento das cadeias de suprimentos (TU, LIM e YANG, 2018). A grande velocidade das mudanças com impactos nos aspectos econômicos, financeiros, sociais também pode ser observado nas cadeias de suprimentos (GARAY-RONDERO, *et al.*, 2020).

A digitalização da cadeia de suprimentos é apresentada como um novo processo inteligente, que agrega valor ao utilizar novas abordagens, em especial, a transformação digital, por meio do uso das tecnologias da I4.0 (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018). A *Digital Supply Chain* (DSC) visa criar valor competitivo para toda a rede do negócio. Embora esse conceito seja amplamente discutido, a compreensão do termo está em seu estágio inicial (BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018). Caiado *et al.*, (2021) evidenciam a carência de trabalhos empíricos sobre o desenvolvimento da I4.0 com diretrizes claras para digitalização das cadeias de suprimentos. Além disso, a literatura atual ainda é escassa no que diz respeito a oferta de modelos de referência para a implantação das tecnologias da I4.0 no contexto da cadeia de suprimentos na era digital (QUEIROZ *et al.*, 2019). Stank *et al.*, (2019) estipulam que são necessários mais estudos para identificar os impactos da digitalização nas cadeias de suprimentos, incluindo o setor siderúrgico (PETRICK e ECHOLS, 2004).

Para cobrir as lacunas de pesquisa apresentadas, esse estudo tem como objetivo propor rotas tecnológicas capazes de integrar princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias, em prol de uma DSC, no contexto de uma usina siderúrgica. Como principal contribuição, este artigo apresenta uma validação empírica do desenvolvimento e aplicação do roteiro tecnológico que atinge o nível de DSC.

Após essa breve introdução do estudo de pesquisa, o artigo apresentará a revisão de literatura de temas relevantes relacionados à DSC. Na sequência, apresenta-se a metodologia da pesquisa, o estudo de caso. Então, os resultados do estudo são apresentados por meio do roteiro tecnológico para a digitalização da cadeia de suprimentos, devidamente validado na pesquisa. Por fim, se discute as conclusões, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cadeias de suprimentos digitais

Os termos “digitalização” e “gerenciamento digital da cadeia de suprimentos” tem influenciado boa parte dos cenários empresariais, incluindo a gestão da cadeia de suprimentos (MACCARTHY *et al.*, 2016). O avanço da digitalização influencia a economia e cria inúmeras oportunidades e, por isso, a mesma pode ser compreendida como uma ferramenta essencial para o bom funcionamento dos negócios (RAJPUT e SINGH, 2018).

O termo DSC, refere-se à evolução de como as cadeias de suprimentos tradicionais estão implementando a I4.0 em seus processos e operações. Especificamente, as tecnologias da I4.0 compreendem tecnologias como *cloud computing*, *big data*, internet das coisas, *blockchain*, inteligência artificial, *machine learnig*, análise preditiva, dentre outras, a fim de melhorar o desempenho das cadeias de suprimentos (FERNANDES, SILVA, REIS, 2021; DUBEY *et al.*, 2020; JOHNSON 2019). Outras tecnologias também se mostram apropriadas, como a manufatura aditiva (DE BRITO *et al.*, 2020), sistemas avançados de processamento de sensores, robótica de última geração, realidade virtual, tecnologias de monitoramento, rastreamento e impressão 3D (IVANOV *et al.*, 2019). A impressão 3D, por exemplo, possibilitou empresas americanas de entregas de encomendas a produzir itens diretamente de seus centros de distribuição, promovendo ganhos de agilidade, eficiência e resiliência em sua cadeia de suprimentos (IVANOV *et al.*, 2019).

Em todo o mundo, as organizações estão direcionando esforços para a digitalização, em função dos potenciais benefícios que podem ser obtidos (NASIRI *et al.*, 2020). Büyüközkan e

Göçer (2018) destacam que um dos motivos para não avançar com a digitalização das cadeias de suprimentos pode ser a natureza disruptiva das transformações organizacionais, que podem levar os gestores a negligenciarem tais frentes de atuação. Os desafios quanto à digitalização das cadeias de suprimentos devem ser explorados criteriosamente. Frazzon *et al.*, (2020) destacam abordagens importantes, tais como, planejamento e controle para atingir a DSC. Para Nasiri *et al.*, (2020) se faz necessário uma combinação de ferramentas, estratégias e abordagens digitais que podem suportar as interações entre funcionários e, principalmente, clientes e fornecedores externos. Nesse sentido, várias indústrias iniciaram seu processo de digitalização de negócios e, conseqüentemente, das cadeias de suprimentos, incluindo a indústria siderúrgica (HERZOG *et al.*, 2017) e manufatura (FREDDI, 2018; STRONG *et al.*, 2018).

2.2 Princípios e construção de arquiteturas da indústria 4.0

Os princípios da I4.0 podem ser considerados como indicadores da I4.0 que ajudam na avaliação detalhada e implantação bem-sucedida de tecnologias deste paradigma tecnológico nas organizações (HABIB e CHIMSOM, 2019). (DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020). Os princípios da I4.0 possuem interseções muito estreitas com características da I4.0 e desempenham um papel crucial na transformação digital das organizações. Os termos relativos aos princípios da I4.0 são utilizados de maneira imprecisa em diversos segmentos da indústria (CULOT *et al.*, 2020; MITTAL *et al.*, 2019).

Devido às diferentes percepções dos autores sobre os princípios da I4.0, faz-se necessário sistematizá-los, o que torna um desafio elencar todos os princípios até então destacados na literatura (DIKHANBAYEVA *et al.*, 2020). Apesar desses desafios, Hermann, Pentek e Otto (2016) apresentaram uma proposta de seis princípios da I4.0, a saber: interoperabilidade, virtualização, decisão descentralizada, capacidade em tempo real, orientação para serviço e modularidade. Os autores concluíram que os princípios da I4.0 propostos permitem uma melhor compreensão do seu contexto, bem como uma melhor identificação, descrição e definição de diferentes cenários para a implementação de suas tecnologias. Cohen *et al.*, (2017) investigaram acerca do estado futuro dos novos paradigmas de montagem como efeito da integração com os princípios da I4.0 na indústria moderna.

Já as arquiteturas tecnológicas são amplamente utilizadas para descrever as principais estruturas e relacionamentos internos dos variados tipos de sistemas considerando suas complexidades (LI *et al.*, 2018). Nesse artigo as arquiteturas tecnológicas são consideradas como as diferentes combinações de tecnologias, e dessa forma indicam como a empresa

combina seus recursos tecnológicos e processos de modo que haja padronização e integração de processos (MORALES *et al.*, 2020).

Em relação à diferentes tipologias e nomenclaturas de arquiteturas, os autores Batista, Melício e Mendes (2017) propuseram uma arquitetura baseada em tecnologias da informação para a I4.0 e a chamaram especificamente de arquitetura facilitadora de serviços da I4.0, do inglês “*industry 4.0 service enabler architecture*” (I4SEA). Essa arquitetura permite que os serviços de valor agregado de redes inteligentes sejam criados alinhados aos princípios da I4.0.

2.3 Roteiros tecnológicos

Frederico *et al.*, (2020) consideram que o desenvolvimento de uma visão estratégica é uma pré-condição para aproveitar todo o potencial das tecnologias de digitalização. Nesse contexto os roteiros tecnológicos tornaram-se uma das ferramentas de gestão mais utilizadas para estabelecer previsões estratégicas na adoção de novas tecnologias (HO e O’SULLIVAN, 2020; SON e LEE 2019). Esses roteiros permitem aos gestores das empresas a otimização do tempo de adoção de novas tecnologias digitais, e principalmente tomar conhecimento de cada movimento e decisão necessários para facilitar a transição das tecnologias utilizadas para as tecnologias da I4.0 (GHOBAKHLOO, 2018). Os roteiros tecnológicos são úteis para identificar forças que podem impulsionar o futuro da empresa em diferentes cenários. Dependendo da complexidade de uma determinada cadeia de suprimentos, alguns ajustes e adaptações devem ser realizados (OLIVARES-AGUILA e VITAL-SOTO, 2021).

Os roteiros tecnológicos também podem apoiar a elaboração da estratégia de inovação das empresas, fornecendo uma plataforma que suporta o diálogo necessário para desenvolver e implementar a inovação desejada (PHAAL e MULLER, 2009). Embora existam vários tipos de roteiros tecnológicos com diferentes propósitos e formatos, eles geralmente são compreendidos em gráficos multicamadas baseados em tempo, permitindo que várias funções e perspectivas dentro de uma empresa sejam mapeadas e alinhadas (PHAAL, FARRUKH e PROBERT, 2004).

Um roteiro tecnológico, portanto, oferece um guia para os gestores canalizarem seus recursos e atividades forma eficiente (JABBOUR *et al.*, 2018). Existem alguns modelos e guias disponíveis que apresentam os principais processos para aplicação dos roteiros tecnológicos, mas entre os principais guias tem-se o T-plan que é a proposta apresentada pelos autores Phaal, Farrukh e Probert (2004). A abordagem do T-plan foi projetada para apoiar os gerentes das organizações acerca do desenvolvimento e comunicação dos planos de novos produtos e tecnologia com o negócio. Resumidamente, tem-se no workshop 1: Identificação dos

direcionadores de mercado e de negócios (camada superior); *workshop* 2: criação de concepções de características do produto/projetos; *workshop* 3: identificação de opções de soluções tecnológicas (camada inferior); *workshop* 4: mapeamento das etapas/marcos, evolução de produtos e tecnologia. Entre outras abordagens e adaptações.

3 METODOLOGIA

Para essa pesquisa foi adotada a estratégia de estudo de caso com abordagem qualitativa no departamento de suprimentos de uma empresa siderúrgica brasileira. Yin (2003) afirma que os estudos de caso permitem o estudo de um determinado fenômeno em um contexto da vida real, principalmente quando os limites entre um fenômeno e seu contexto não são evidentes. O presente estudo de caso permitiu explorar o fenômeno de digitalização da cadeia de suprimentos da empresa, por meio do desenvolvimento e aplicação do roteiro tecnológico com base nos princípios da I4.0. A escolha da empresa foi intencional, pois a mesma atravessa esse momento de digitalização de suas atividades e, principalmente, da cadeia de suprimentos. A pesquisa foi desenvolvida com abrangência às várias unidades da empresa no Brasil.

A coleta de dados foi realizada em três etapas, que compreendem: reunião prévia de alinhamento, entrevistas e *workshop*. Na reunião de alinhamento todos os entrevistados participaram, 2 gerentes de suprimentos, 1 supervisor de almoxarifado, 7 analistas de compras e 2 analistas de inteligência de sistemas. A reunião foi realizada de maneira coletiva no mês de março de 2022. O objetivo central desta etapa foi apresentar o projeto de pesquisa, direcionado para o tema de cadeia de suprimentos digital.

A seleção dos participantes da pesquisa, ocorreu de acordo com os critérios: conhecimentos e habilidades técnicas e práticas, representações de cada área do departamento de suprimentos envolvida no processo de digitalização, e disponibilidade. Os participantes foram definidos, e, compuseram um grupo doze pessoas, em que foi aplicada a metodologia de desenvolvimento de roteiro tecnológico, com o uso de entrevistas e *workshop* entre os profissionais encarregados de adotarem as tecnologias da I4.0 na empresa (PHAAL, FARRUKH e PROBERT, 2001).

As entrevistas referentes à cada camada do roteiro tecnológico, para levantamento de informações referentes aos princípios, arquiteturas e tecnologias, foram realizadas no período de abril a agosto de 2022. No que diz respeito aos princípios procurou-se entender os princípios da I4.0 norteadores da empresa. Nesse momento buscou-se verificar a aderência de tais princípios entre a literatura e o que o departamento de suprimentos vislumbra no horizonte 2022

a 2030. No que tange a arquitetura tecnológica buscou-se o entendimento dos projetos e a combinação de tecnologias necessárias para atingimento dos princípios elencados no workshop anterior. Na etapa de análise das tecnologias verificou-se a necessidade de adoção de novas tecnologias que suportam na implementação de determinados projetos e consequentemente atingimento dos princípios.

Por fim, o workshop para a concepção do roteiro tecnológico foi a etapa final da pesquisa. Essa etapa ocorreu no mês de setembro de 2022. Os workshops são considerados ferramentas com a função de prover a comunicação e adesão (PHAAL, FARRUKH e PROBERT, 2001) do que se propõe com o roteiro. Para a elaboração do *roadmap* foi utilizada uma plataforma interativa on-line.

Fig 1. Estratégia metodológica.

Etapas	Perguntas	Participantes	Duração
Reunião prévia de alinhamento	Apresentação da metodologia de pesquisa e tema		82 min
1° Entrevista: Princípios da I4.0	Quais princípios da I4.0 você pretende alcançar?	02 - Gerentes de Suprimentos; 01 - Supervisor de	57 min
2° Entrevista: Arquitetura	Que projetos (arquiteturas) devem ser desenvolvidos/implementados para apoiar a adoção de tais princípios da I4.0?	Almoxarifado; 07 - Analistas de Suprimentos;	58 min
3° Entrevista: Tecnologias	Quais são as tecnologias atuais e necessárias para apoiar a implementação dos projetos (arquiteturas) definidos pelo departamento de suprimentos?	02 - Analistas de Inteligência.	49 min
Workshop: Roteiro tecnológico	Quais são os caminhos possíveis para a integração de princípios, arquiteturas e tecnologias no horizonte de 2022 a 2030?		105 min

Para as entrevistas foi desenvolvida a análise qualitativa e para o workshop, a análise se deu a partir da utilização da abordagem *T-Plan* (PHAAL, FARRUKH e PROBERT, 2001) que utiliza brainstorming e priorização por meio dos resultados que mais se destacam a partir da percepção do grupo de entrevistados.

Os dados foram registrados por meio de anotações, observação e registro das falas. O pesquisador apresentou a literatura dos princípios da I4.0 e os respondentes validaram esses princípios na entrevista referente a esse bloco. Na sequência foram escolhidos alguns desses princípios para nortear a construção do roteiro. As arquiteturas e tecnologias foram levantadas

na própria empresa. As conexões entre princípios da I4.0, arquiteturas e tecnologias foram traçadas no momento do workshop.

4 RESULTADOS

4.1 Integração: Princípios, arquiteturas e tecnologias

A partir da organização da tabela de integração dos princípios, arquiteturas e tecnologias foi possível delinear a primeira etapa do roteiro tecnológico da empresa para o departamento de suprimentos, destacando os projetos recentemente implementados e em fase de implementação. Cada projeto visa atingir alguns dos princípios da I4.0 e, para isso, utiliza uma combinação de tecnologias que suportam na estruturação e implementação de tais projetos. A tabela 1 apresenta a arquitetura tecnológica implementada no departamento de suprimentos da empresa estudada, em que essa foi definida a partir dos princípios da I4.0.

Tabela 1: Integração dos princípios, arquiteturas e tecnologias.

Princípios	Conceito	Arquitetura (Projetos Estratégicos)	Conceito	Tecnologias
Conhecimento; Inteligência	"Princípio da ""autodecisão"" e negociação inteligente; Princípio que visa incluir a inteligência em todos os processos da CS."	Metodologia de strategic sourcing	Avaliação técnica e estratégica das fontes de abastecimento da empresa. Abertura de concorrência frequente para identificar os melhores fornecedores que se qualifiquem em termos de custo, risco e benefício.	<i>Power BI; Analytics; ERP</i>
Redução de custos; Orientação para serviço	"Princípio baseado na redução de custos relacionados a: fabricação de produtos, prazo de entrega de compras, estoques, entre outros; Capacidade e desejo de antecipar, reconhecer e atender às necessidades dos sistemas."	Implementação de inspeção técnica	Rastreabilidade ponto a ponto dos estoques de matéria-prima da fábrica.	<i>QR Code; Mobile</i>
Princípio Lean	Filosofia de gestão focada na melhoria dos processos de atendimento. (Maximização de valor e minimização de desperdício).	Reestruturação do layout do almoxarifado	Avaliação de peças de reposição quanto ao nível de exigência de qualidade esperada.	<i>Software de simulação</i>
Redução de custos	Princípio baseado na redução de custos relacionados a: fabricação do produto, prazo de entrega das compras, estoques, entre outros.	Lançamento automático de notas fiscais	Automação de atividade manual.	<i>ERP</i>
Rastreabilidade, Previsibilidade	"Visibilidade total de toda a cadeia de abastecimento ao longo do ciclo de vida do produto; Grau de predição do sistema o mais próximo possível do real."	Implementação de RFID	Padronização dos locais de entrega de materiais na Fábrica.	Etiquetas com chip e antenas
Integração interna	Colaboração e gestão coletiva de recursos e processos intra-organizacionais.	Otimização dos pontos de entrega da usina	Otimização do espaço físico do armazém e armazenamento inteligente com base nas características/dimensões das embalagens e critérios de giro de estoque.	<i>Smart locker; Biometria</i>

4.2 Rota tecnológica: Integração das tecnologias x arquitetura x princípios

A adoção do processo de rota tecnológica “*T-Plan*” resultou em um esquema (Figura 1) de comunicação estratégica que pode ser utilizada entre os membros do departamento de

suprimentos, nos níveis, estratégico, tático e operacional. Este esquema estabelece a relação direta entre os princípios da I4.0, arquiteturas tecnológicas que consiste na combinação de diferentes tecnologias para atingir determinado objetivo e as tecnologias que compõem essas arquiteturas, no terceiro nível do esquema. Com efeito, este roteiro pode suportar na integração do planejamento de negócios e adoção de tecnologia, com vias a alcançar a digitalização da cadeia de suprimentos com sucesso.

Fig. 2 Roteiro tecnológico desenvolvido no contexto da pesquisa (2022 a 2024).

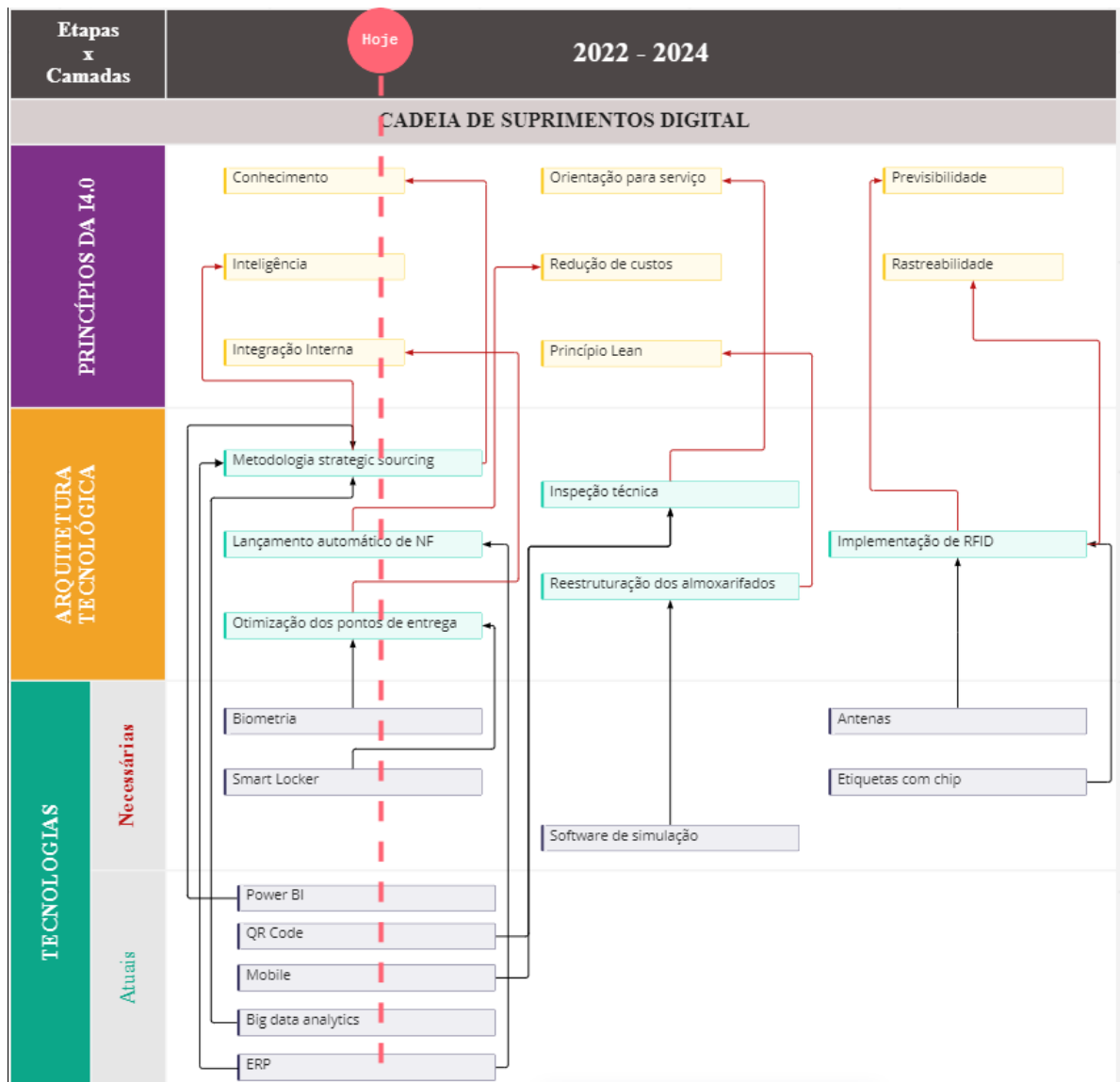
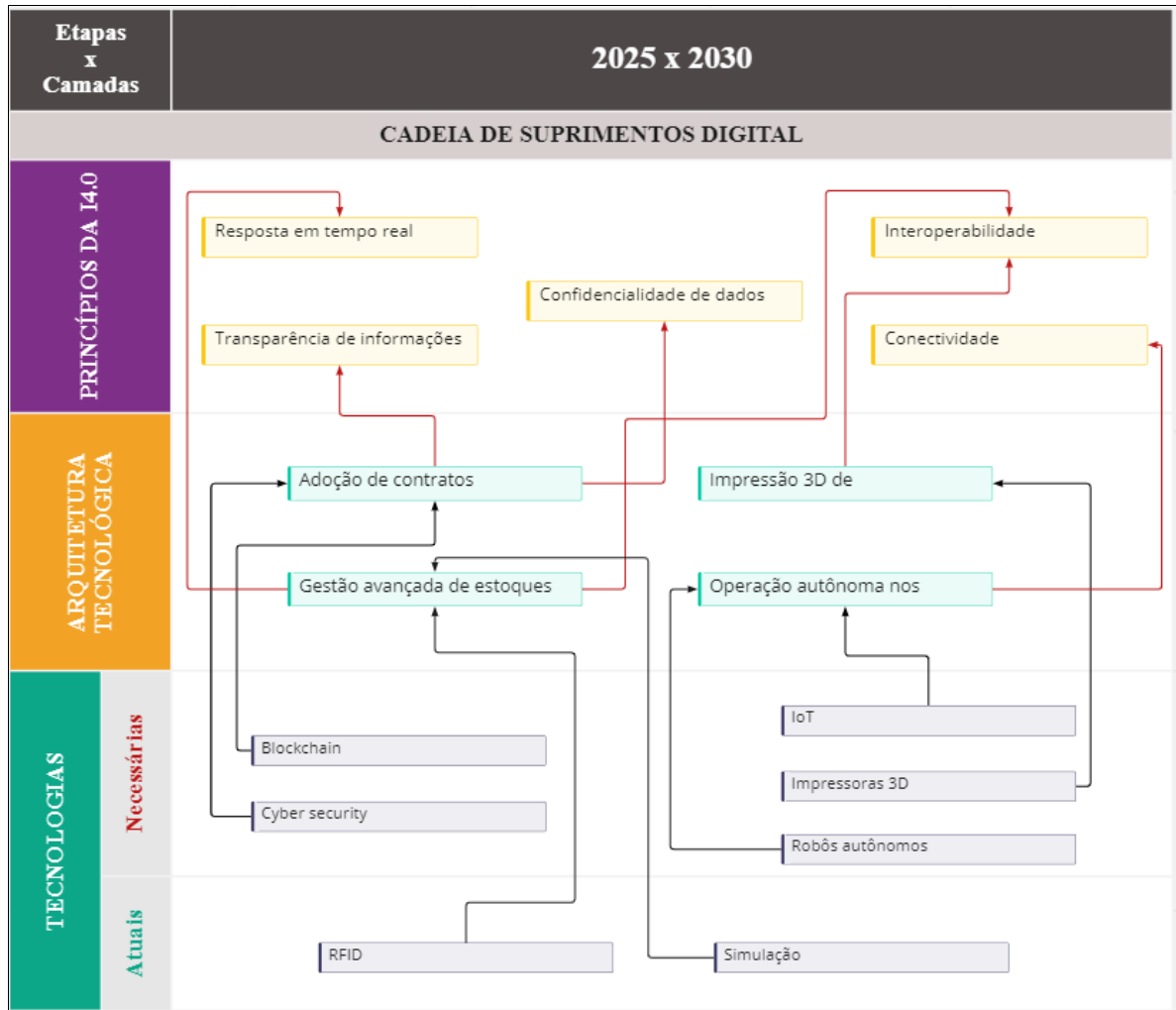


Fig. 3 Roteiro tecnológico desenvolvido no contexto da pesquisa (2025 a 2030).



O roteiro tecnológico dos anos de 2022, 2023 e 2024 foi desenhado com base nos projetos atuais em fase de implementação. Já em relação às rotas tecnológicas futuras, foi desenvolvido o roteiro no horizonte de 2025 a 2030. Tanto no aspecto de princípios, quanto tecnologia, baseou-se na literatura disponível conjuntamente com soluções propostas para o mercado. Já para a camada de arquitetura, entende-se que novos projetos surgirão com base na necessidade estratégica da organização para o atendimento de novas necessidades e demandas.

5 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta um roteiro tecnológico para a digitalização da cadeia de suprimentos, que inclui as camadas: princípios da I4.0, sua arquitetura tecnológica e tecnologias. Este roteiro é baseado e apoiado pelos resultados do estudo de caso realizado no departamento de suprimentos de uma empresa do segmento siderúrgico.

A proposta de roteiro tecnológico oferece uma orientação do estado da arte para as empresas que almejam adotar tecnologias da I4.0 em suas cadeias de suprimentos, além de buscar reduzir algumas das barreiras à digitalização, tanto numa perspectiva tecnológica quanto estratégica. A integração e interconexão entre os diferentes projetos na formação da arquitetura tecnológica deverão ser baseados em estratégias que suportem as empresas na transição de tecnologias convencionais para um mundo digital, cuja base deve ser os princípios da I4.0.

A questão de pesquisa - como integrar princípios, arquiteturas, e tecnologias em prol de uma cadeia de suprimentos digital no contexto de uma siderúrgica? - foi respondida ao apresentar o roteiro tecnológico com suas devidas conexões (princípios, arquiteturas e tecnologias). A orientação do departamento de suprimentos nesse caso estudado foi considerada tanto no sentido *market pull*, ou seja, na adoção de tecnologias para atender demandas de mercado, quanto no sentido de *technology push*, que envolve a adoção de tecnologias que visam induzir determinadas formas de comportamento dos agentes de mercado. Isso porque o roteiro desenvolvido teve como input o planejamento estratégico do departamento de suprimentos da empresa, que é orientado para o mercado. O grupo entrevistado entende que é fundamental induzir a cadeia de suprimentos (fornecedores principalmente), a entregar valor com base digitalização dos processos para tornar a cadeia mais competitiva e responsiva.

Como principal contribuição, este artigo apresenta uma validação empírica do desenvolvimento e aplicação do roteiro tecnológico que atinge o nível de DSC. Nesse sentido, o mapa apresentado integrou os princípios, arquiteturas e tecnologias do I4.0 entre as camadas.

Os potenciais benefícios obtidos pelo DSC apontados nesta pesquisa vão ao encontro dos achados da literatura, envolvendo a possibilidade de extrair informações valiosas dos dados gerados e alcançar maior integração entre as etapas da cadeia de suprimentos (IVANOV e DOLGUI, 2021).

O método de desenvolvimento e aplicação do roteiro baseou-se nas seguintes etapas: (1) Elicitação de princípios; (2) Identificação de tecnologias; (3) Composição das arquiteturas; e (4) Integração/Concepção do modelo para a cadeia de suprimentos digital.

Pode-se concluir também que o método apresentado é uma implicação prática ao possibilitar sua replicação em outras empresas. Como sugestão para estudos futuros, este método pode ser adaptado para pesquisar diferentes contextos industriais e de serviços.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, N. C.; MELÍCIO, Rui; MENDES, V. M. F. Services enabler architecture for smart grid and smart living services providers under industry 4.0. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 16-27, 2017.
- BÜYÜKÖZKAN, Gülçin; GÖÇER, Fethullah. Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research. **Computers in Industry**, v. 97, p. 157-177, 2018.
- CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão *et al.* A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 231, p. 107883, 2021.
- COHEN, Yuval *et al.* Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 14958-14963, 2017.
- CULOT, Giovanna *et al.* The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. **Technological forecasting and social change**, v. 157, p. 120092, 2020.
- DE BRITO, Filipe Marinho *et al.* Design approach for additive manufacturing in spare part supply chains. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 17, n. 2, p. 757-765, 2020.
- DIKHANBAYEVA, Dinara *et al.* Assessment of industry 4.0 maturity models by design principles. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 9927, 2020.
- DUBEY, Rameshwar *et al.* Agility in humanitarian supply chain: An organizational information processing perspective and relational view. **Annals of Operations Research**, p. 1-21, 2020.
- FERNANDES, Júlio; SILVA, Sérgio; REIS, Luciana. Roadmap for the Adoption of Smart Supply Chain. Proceedings of **16th European Conference on Innovation and Entrepreneurship**, v. 2, p. 1254-1263, 2021. DOI:10.34190/EIE.21.171
- FRAZZON, Enzo Morosini *et al.* Manufacturing networks in the era of digital production and operations: A socio-cyber-physical perspective. **Annual reviews in control**, v. 49, p. 288-294, 2020.
- FREDDI, Daniela. Digitalisation and employment in manufacturing. **Ai & Society**, v. 33, n. 3, p. 393-403, 2018.
- FREDERICO, Guilherme F. *et al.* Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2019.
- GARAY-RONDERO, Claudia Lizette *et al.* Digital supply chain model in Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2020.

GHOBAKHLOO, Morteza. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of manufacturing technology management**, 2018.

HABIB, Maki K.; CHIMSOM, Chukwuemeka. Industry 4.0: Sustainability and design principles. In: 2019 20th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM). **IEEE**, 2019. p. 1-8.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). **IEEE**, 2016. p. 3928-3937.

HERZOG, Kurt et al. The digitalization of steel production. *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, v. 162, n. 11, p. 504-513, 2017.

HO, Jae-Yun; O'SULLIVAN, Eoin. Toward integrated innovation roadmapping: lessons from multiple functional roadmaps beyond technology R&D. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 69, n. 1, p. 155-167, 2020.

IVANOV, Dmitry; DOLGUI, Alexandre; SOKOLOV, Boris. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 3, p. 829-846, 2019.

IVANOV, Dmitry; TSIPOULANIDIS, Alexander; SCHÖNBERGER, Jörn. Digital supply chain, smart operations and industry 4.0. In: *Global Supply Chain and Operations Management*. **Springer**, Cham, 2019. p. 481-526.

JOHNSON, K. What is digital supply chain management? *Supply Chain Management*. 2019. Disponível em: <https://www.bitsight.com/blog/what-is-digital-supply-chain-management>. Acesso em: 26/04/2023.

LI, Qing et al. Architecture of integration of industrialization and informatization. In: *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"*. **Springer**, Cham, 2018. p. 5-14.

LOPES DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**, v. 270, n. 1, p. 273-286, 2018.

MACCARTHY, Bart L. et al. Supply chain evolution—theory, concepts and science. **International Journal of Operations & Production Management**, 2016.

MITTAL, Sameer et al. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, v. 233, n. 5, p. 1342-1361, 2019.

- MORALES, Ramiro Peralta et al. Business Architecture and Technological Innovation: Foundations for the Development of Dynamic Absorption Capacities. **TEM Journal**, v. 9, n. 1, p. 227-232, 2020.
- NASIRI, Mina et al. Managing the digital supply chain: The role of smart technologies. **Technovation**, v. 96, p. 102121, 2020.
- OLIVARES-AGUILA, Jessica; VITAL-SOTO, Alejandro. Supply Chain Resilience Roadmaps for Major Disruptions. **Logistics**, v. 5, n. 4, p. 78, 2021.
- PETRICK, Irene J.; ECHOLS, Ann E. Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 1-2, p. 81-100, 2004.
- PHAAL, Robert; FARRUKH, C.; PROBERT, D. T-Plan: the fast start to Technology Roadmapping—planning your route to success, University of Cambridge. Institute for Manufacturing, 2001.
- PHAAL, Robert; FARRUKH, Clare JP; PROBERT, David R. Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. **Technological forecasting and social change**, v. 71, n. 1-2, p. 5-26, 2004.
- PHAAL, Robert; MULLER, Gerrit. An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. **Technological forecasting and social change**, v. 76, n. 1, p. 39-49, 2009.
- QUEIROZ, Maciel M. et al. Industry 4.0 and digital supply chain capabilities: A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities. **Benchmarking: an international journal**, 2019.
- RAJPUT, Shubhangini; SINGH, Surya Prakash. Identifying Industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach. **Management Decision**, 2018.
- SON, Woojin; LEE, Sungjoo. Integrating fuzzy-set theory into technology roadmap development to support decision-making. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 31, n. 4, p. 447-461, 2019.
- STANK, Theodore et al. Toward a digitally dominant paradigm for twenty-first century supply chain scholarship. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2019.
- STRONG, Danielle et al. Hybrid manufacturing—integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain. **Additive Manufacturing**, v. 21, p. 159-173, 2018.
- TU, Mengru; LIM, Ming K.; YANG, Ming-Fang. IoT-based production logistics and supply chain system—Part 1: Modeling IoT-based manufacturing supply chain. **Industrial Management & Data Systems**, v. 118, n. 1, p. 65-95, 2018.

YIN, Robert K. et al. Design and methods. Case study research, v. 3, n. 9.2, 2003.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DA ARQUITETURA DE REFERÊNCIA RAMI 4.0 NO PURCHASING AND SUPPLY MANAGEMENT (PSM) EM UMA SIDERÚRGICA BRASILEIRA

Resumo: A indústria 4.0 (I4.0) envolve um conjunto de tecnologias com o objetivo de fornecer informações em tempo real sobre todo o fluxo de produção de valor ao longo da cadeia de suprimentos na qual uma organização está inserida. A implementação dos conceitos da I4.0 ainda é um grande desafio para as empresas. Para uma melhor conceituação e compreensão da adoção da I4.0, vários modelos de arquiteturas emergiram. A literatura ressalta que ainda falta de padronização em relação às arquiteturas de referência da I4.0, além das mesmas serem direcionadas para a atividade de manufatura. Ao que parece, não existe trabalho ou estudo que adapte essa arquitetura ao contexto do *Purchasing and Supply Management* (PSM). Dessa forma, o objetivo central desse estudo é caracterizar os projetos de PSM à luz da arquitetura tridimensional RAMI4.0, no contexto de uma empresa siderúrgica brasileira. Para tanto, os projetos foram caracterizados em relação às dimensões: ciclo de vida, camadas e hierarquia. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso em profundidade considerando a combinação de quatro métodos de coleta de dados, quais sejam, observação participante, análise documental, entrevistas individuais e grupo focal com os profissionais da área de PSM – compradores, supervisor de almoxarifado, gerente de suprimentos e analistas de inteligência de suprimentos. Os projetos estratégicos em curso de implementação na empresa foram caracterizados em relação à arquitetura tridimensional RAMI4.0, e tal caracterização pode servir de guia para orientar a adoção da I4.0 na área de PSM, apresentando a relação entre ciclo de vida, camadas e hierarquia, por meio de projetos que visem a implementação da cadeia de suprimentos inteligente. Como contribuições, este artigo adapta a arquitetura de referência RAMI4.0 para o contexto do PSM e valida empiricamente a arquitetura de referência proposta.

Palavras-chave: Purchasing and supply management (PSM), Indústria 4.0, RAMI4.0.

1 INTRODUÇÃO

O *Purchasing Supply Management* (PSM) pode ser definido como a função de gerenciamento do negócio que visa identificar as fontes de fornecimento, o acesso e o gerenciamento dos recursos externos que uma organização precisa para cumprir seus objetivos estratégicos (CIPS) (2020). O PSM envolve várias dimensões do conhecimento como o conhecimento do mercado fornecedor, conhecimento técnico e comercial, (COUSINS *et al.*, 2006; CARR e SMELTZER, 2000; KEOUGH, 1993) que, quando bem gerenciadas, contribuem para a elaboração de estratégias de negócio (MONCZKA *et al.*, 2016). Desse modo, o PSM é a principal função responsável por definir o design e a estratégia da rede de suprimentos (fornecedores) e, portanto, representa o ponto focal para aumentar a capacidade de resposta das organizações e suas cadeias de suprimentos (PATRUCCO e KAHKONEN, 2021).

Em um ambiente cada vez mais dinâmico e incerto, o PSM pode contribuir com valor para o sucesso dos negócios (WYNSTRA *et al.*, 2019; JOHNSON *et al.*, 2014).

As pesquisas sobre PSM incluem desde a sua digitalização (LEGENVRE *et al.*, 2020) até temas envolvendo as competências e habilidades dos profissionais da área (BALS *et al.*, 2019). (BU *et al.*, 2020; NASIRI *et al.*, 2020; e FRANK *et al.*, 2019) investigaram o impacto do gerenciamento da cadeia de suprimentos digital na criação de mudanças inovadoras no processo de produção. Garay-Rondero *et al.*, (2020) explicaram as dimensões da cadeia de suprimentos digital em meta-análise qualitativa e desenvolveram um modelo no nível industrial.

Encorajados pelo progresso tecnológico, pesquisadores e profissionais estudam a adoção de tecnologias da I4.0 na função PSM (ARAUJO *et al.*, 2022; DE SÁ *et al.*, 2022; FERNANDES, SILVA e REIS, 2021). A I4.0 é uma abordagem promissora baseada na integração dos processos de negócio e manufatura, bem como na integração de todos os atores da cadeia de valor de uma empresa, que incluem principalmente os fornecedores e clientes Shaharudin *et al.*, (2022); Ivanov, Dolgui, Sokolov, (2022). Li, Xiang (2020) enfatiza que a aplicação de alto nível de tecnologias automatizadas, informatizadas e inteligentes transformou recentemente os negócios entre empresas em um estágio de cadeia de suprimentos inteligente que melhora a eficiência operacional e reduz os custos. No âmbito da função PSM a adoção de tecnologias da I4.0 denomina-se “*smart supply chain*” (KHAN, PIPRANI, YU, (2022); Caiado *et al.*, (2022); Fernandes, Silva e Reis, (2021).

Para orientar o processo de adoção dessas tecnologias, vários estudos foram desenvolvidos com o intuito de apresentar uma arquitetura padronizada que suporte diferentes aspectos, desde a instalação de equipamentos até o gerenciamento dos dispositivos em uma rede distribuída (ZHENG *et al.*, 2018, ADOLPH 2016, HERMANN, PENTEK e OTTO 2016, HANKEL e REXROTH 2015, LASI *et al.*, 2014). Muitos pesquisadores propuseram uma estrutura conceitual para a adoção de tecnologias inteligentes no contexto da I4.0 (ZHENG *et al.*, 2018; DALENOGARE *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2017; LU, 2017).

Devido à grande quantidade de tecnologias disponíveis na I4.0 e a complexidade das organizações existem modelos de referência ou arquiteturas cujo papel é permitir o entendimento e planejamento sobre como as tecnologias da I4.0 devem ser implementadas nas organizações, de modo a gerar o maior benefício possível. Entre as arquiteturas disponíveis, destacam-se: *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA), *Industrial Value Chain Reference Architecture* (IVRA), *Stuttgart IT Architecture for Manufacturing* (SITAM), *IBM Industry 4.0*, além do *Reference Architectural Model Industrie 4.0* (RAMI4.0). Essa última

arquitetura de referência, desenvolvida com o apoio do governo alemão, mostra-se ao mesmo tempo de fácil aplicação e abrangente, permitindo uma análise bastante ampla das possibilidades tecnológicas da empresa (ADOLPHS *et al.*, 2015).

Analisando a literatura, observa-se que a implementação dos conceitos da I4.0 ainda é um grande desafio para as empresas (CAIADO *et al.*, 2022). Os estudos da aplicabilidade da arquitetura RAMI4.0, muitas vezes se mostram direcionados para a atividade de manufatura (GREFEN *et al.*, 2022; ÇINAR, ZEESHAN e KORHAN, 2021; MURUGAIYAN e RAMASAMY, 2021). Ao que parece não existe trabalho que adapte este conceito à área de PSM. Por fim, Nakagawa *et al.*, (2021) afirmam que as arquiteturas de referência existentes não são totalmente adequadas para suportar os processos da I4.0. O principal aspecto, nesse sentido, é o alto nível de abstração das mesmas, além da falta de documentação detalhada e de sistemas totalmente automatizados, tornando difícil a gestão e adoção dos projetos da I4.0 no dia a dia das empresas (NAKAGAWA *et al.*, 2021). Todos esses modelos são conceituais, no entanto, desafios de implicação prática ainda são necessários no contexto empírico de pesquisa da adoção da I4.0 no contexto do PSM.

Para cobrir esta lacuna de pesquisa, esse estudo tem como objetivo caracterizar o modelo de arquitetura tridimensional à luz da lente teórica do RAMI4.0 aplicado ao contexto de PSM de uma siderúrgica brasileira. O modelo tridimensional considerará as dimensões ciclo de vida (Almoxarifado e Compras), as camadas (mundo físico; integração; informação / comunicação e negócio), e hierarquia de manufatura (Produto, Dispositivos de campo/controle, Estação de trabalho, Empresa, e Mundo externo/conectado). Dessa forma, os projetos estratégicos de PSM na siderúrgica estudada serão analisados e caracterizados à luz do modelo de arquitetura proposto.

Como principal contribuição, este artigo cobre a lacuna da literatura em termos de adequação da arquitetura RAMI4.0 desenvolvida sob a ótica da manufatura inteligente, para o contexto da *smart supply chain* no âmbito do PSM. Ademais, o modelo de arquitetura proposto representa uma validação empírica por meio da demonstração de projetos de PSM de uma siderúrgica à luz da lente teórica RAMI4.0. Esse resultado poderá servir de orientação para outras empresas que almejem implementar as tecnologias da I4.0 no PSM.

Além dessa breve introdução, o restante do artigo está organizado em cinco seções. A segunda seção apresenta uma breve visão geral do estado atual da literatura no que diz respeito à atuação e atribuições estratégicas do PSM, além de explicar brevemente os modelos de referência de arquiteturas da I4.0, destacando o modelo de arquitetura RAMI4.0. Na terceira seção discute a estratégia metodológica abordando as etapas da pesquisa e delineando a

aplicação do modelo de arquitetura tridimensional à luz da arquitetura RAMI4.0. Posteriormente, na quarta seção, os resultados são apontados. O artigo finaliza com as implicações da aplicação de modelos de arquitetura de referência da I4.0 na área de PSM e apresenta uma perspectiva sobre novas direções de pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Purchasing and Supply Management

O PSM é considerado a evolução do termo compras e, nesse sentido, apresenta uma abordagem mais estratégica ao invés de operacional ou tático (CIPS, 2020). O PSM também é responsável pelas aquisições de matérias-primas, insumos, produtos semiacabados entre outros, provenientes de fornecedores em todo o mundo, a fim de viabilizar a produção de mercadorias para seus clientes (PEREIRA *et al.*, 2020).

A capacidade de desenvolver e sustentar um conhecimento superior de mercados e cadeias de suprimentos é um meio importante de aumentar a relevância estratégica do PSM (VAN WEELE e VAN RAAIJ, 2014). As organizações que investem na função PSM podem se beneficiar de maior resiliência e capacidade de resposta do lado da oferta (PEREIRA *et al.*, 2020). A função PSM torna-se ainda mais importante para a definição de estratégias de negócio que visem maior competitividade e sustentabilidade das organizações, uma vez que, os ambientes de negócios contemporâneos estão em constantes e rápidas transformações (KAMANN *et al.*, 2016; STEIBER e ALÄNGE, 2016).

A importância da função PSM ultrapassa os limites organizacionais, uma vez que, entre 60 e 80 por cento dos custos totais (MONCZKA *et al.*, 2015; VAN WEELE, 2009) são externos à organização, ou seja, sendo pagos aos fornecedores externos (VAN WEELE e VAN RAAIJ, 2014). Pesquisadores reconheceram que o papel dos profissionais de PSM está mudando e evoluindo consideravelmente (WYNSTRA *et al.*, 2019; JOHNSON *et al.*, 2014). Estudos também apontam que a área de PSM deveria ser reconhecida pela criação de valor mais estratégico (SCHUTZ *et al.*, 2020) e, não somente pela redução de custos, como é tradicionalmente reconhecida (SCHIELE, 2007; COUSINS *et al.*, 2006). Para isso, se torna necessário que os profissionais da linha de frente de PSM sejam devidamente treinados (CARNOVALE e DUHADWAY, 2021; STEK e SCHIELE 2021).

A literatura apresenta seis objetivos estratégicos de PSM. O primeiro visa aumentar a cobertura contratual e reduzir riscos operacionais e contratuais - inovação em fontes de

fornecimento (LUZZINI *et al.*, 2015; SCHIELE, 2010), tratativas de possíveis interrupções de fornecedores (WIELAND *et al.*, 2016), garantia de sustentabilidade na rede de fornecedores (MONTABON *et al.*, 2016); processos estratégicos (*Source-to-Contract*) e operacionais (*Purchase-to-Pay*) (MONCZKA *et al.*, 2016; VAN WEELE e VAN RAAIJ, 2014). (2) Garantir conformidade de itens críticos de estoque - níveis de estoque por localização do cliente; balanceamento de disponibilidade de peças (TOPAN *et al.*, 2020). (3) Otimizar espaços de armazenamento; - Wang *et al.*, (2010) ilustraram que a gestão de armazenamento baseado em identificação por radiofrequência (RFID) melhora a eficiência da operação, a utilização da capacidade do armazém e a precisão do estoque, além de reduzir a mão de obra e o tempo de carregamento. (4) Aumentar produtividade e assertividade no processo de lançamento automático de NF – transparência de informações (FLATT *et al.*, 2016) e redução dos custos (FROHLICH e WESTBROOK 2001); (5) Eliminar controles manuais; - melhoria nos indicadores de produtividade e eficiência, aumento dos níveis de qualidade, redução e eliminação dos problemas (CRESPI *et al.*, 2007). (6) Aumentar produtividade na distribuição - garantia das entregas de sobressalentes e matérias-primas de forma ininterrupta para o processo produtivo (TOPAN *et al.*, 2020).

No que diz respeito as atividades operacionais executadas pela função PSM destacam-se dois grupos de processos, aqueles relacionados à aquisição de materiais e os relativos à gestão do almoxarifado. Quanto à aquisição de materiais, destacam-se: cotação, negociação, contratação e acompanhamento de pedidos. Essas atividades são relacionadas à fornecedores, transporte, controle de qualidade e garantia (MONCZKA *et al.*, 2015; FOERSTL *et al.*, 2010) e leva em consideração: planejamento, avaliação e controle de rotinas substancialmente importantes no tocante às decisões estratégicas de fornecimento (PEREIRA *et al.*, 2020; HARTMANN, KERKFELD e HENKE, 2012). No que diz respeito à gestão do almoxarifado, devem ser consideradas as atividades de recebimento, conferência, carga e descarga, armazenamento, lançamento de notas fiscais e distribuição/expedição de materiais (VAN WEELE, 2009). Alguns exemplos de estratégias e políticas de operação são o projeto de espaço físico e determinação da localização dos materiais (ZHANG, XUE e LAI, 2000), a tomada de decisão em relação à terceirização de tais atividades (LEE, 2006), e o padrão de fluxo de materiais no estoque, que considera FIFO (*First In, First Out*) versus LIFO (*Last In, First Out*) (WANG, CHEN e XIE, 2010).

2.1.1 Uma visão geral do PSM no setor siderúrgico

A produção de aço é um dos setores importantes para o crescimento econômico mundial. A indústria siderúrgica possui grande importância na indústria de transformação, na participação no produto interno bruto (PIB) e na geração de empregos. Segundo o Instituto Aço Brasil - IAB (2021), a produção de aço bruto da indústria siderúrgica brasileira atingiu 31,1 milhões de toneladas em 2020. Em termos mundiais, esse setor também tem importância significativa em diferentes países. A produção mundial de aço bruto atingiu 1,87 bilhão de toneladas em 2020. Segundo o IAB (2021), o Brasil aparece como 9º maior produtor de aço bruto, com 1,7% da produção mundial em 2020. Devido à forte relevância econômica da indústria siderúrgica, uma vez que, é fornecedora de insumos para outros setores e estar condicionada ao comportamento desses setores demandantes (VIANA, 2019), a transformação digital promovida pela I4.0 torna-se imprescindível (GAJDZIK e WOLNIAK, 2021).

Entre os materiais da indústria siderúrgica, geridos pela função PSM, tem-se: energia, matéria-prima, outros materiais e sobressalentes, conhecidos também como materiais de manutenção, reparo e operação (MRO) (FERNANDES, SILVA e REIS 2021). As matérias-primas, incluindo minério de ferro e coque, representam a maior parte do custo de fabricação do aço e seus produtos relacionados (XIONG e HELO, 2008). Somam-se à esses insumos, os materiais auxiliares de produção: materiais para a fabricação do aço, indústrias auxiliares de fundição, usinagem, fabricação e processamento, além de serviços abrangentes, como transporte e suprimentos (OCHERL *et al.*, 2017).

Os materiais sobressalentes referem-se aos produtos que mantêm uma usina siderúrgica funcionando. No caso particular dos sobressalentes, espera-se que o gerenciamento da cadeia de suprimentos reduza os custos operacionais e mantenha a satisfação do cliente em alto nível (CALDAS *et al.*, 2019). No entanto, essa categoria de materiais é difícil de gerir, pois para garantir a satisfação do cliente pode implicar um aumento significativo dos níveis dos estoques (KHAJAVI *et al.*, 2014). Frazzon *et al.*, (2019) destacam que para garantir um nível de serviço desejado aos clientes com um preço justo, entre outras coisas, é necessário reduzir os tempos de parada de manutenção da indústria. A manutenção adequada requer a disponibilidade de peças de reposição no momento, local e qualidade certos. No entanto, algumas características aumentam a complexidade dessa tarefa, como o alto número de peças a serem gerenciadas, a alta responsabilidade exigida devido aos custos de parada do cliente e o risco de estoque obsoleto (FRAZZON *et al.*, 2019).

Portanto, para tratar a complexidade da categoria de materiais sobressalentes, é importante analisar a aderência dos projetos estratégicos da área de suprimentos e quais tecnologias e/ou ferramentas necessárias para suportar os processos de PSM. A esse respeito, Gajdzik e Wolniak (2021) destacam que a indústria siderúrgica está evoluindo para a I4.0, por meio da implementação de altos níveis de automação, de maneira consistente em seus processos de produção de aço.

2.2 Arquiteturas de Referência da Indústria 4.0

A I4.0 utiliza arquiteturas de referência com conteúdo, formato e finalidade diferentes. Existem muitos cenários e desafios para a implementação de sistemas da I4.0 e dependendo do contexto tais aplicações podem apresentar diferentes requisitos de arquitetura (NAKAGAWA *et al.*, 2021). Uma arquitetura de referência pode ser entendida como um projeto que fornece descrições, ações que executam as determinadas regras ou restrições de um sistema (SAGE e ROUSE, 2014).

Em relação à essas arquiteturas, resumidamente, tem-se: i) Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) - arquitetura orientada para a indústria de manufatura desenvolvida pelo Industrial Internet Consortium liderado pelos EUA, que tem investido na adoção mundial da Industrial IoT (IIoT) (BOYES, *et al.*, 2018); ii) Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA) - arquitetura conceitual mantida pela Industrial Value Chain Initiative (2018), Japão; iii) Stuttgart IT Architecture for Manufacturing (SITAM) - arquitetura acadêmica multicamadas projetada dentro de vários projetos de pesquisa liderados pela Universidade de Stuttgart, Alemanha (KASSNER *et al.*, 2016); iv) LASim Smart Factory (LASFA) - arquitetura tridimensional proposta pela Universidade de Ljubljana, Eslovênia (RESMAN, *et al.*, 2019); v) IBM Industry 4.0 - arquitetura distribuída comercialmente (IBM, 2020); e por fim, vi) the Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - arquitetura específica de domínio, orientada pelo governo alemão por meio da especificação técnica internacional IEC PAS 63088:2017 (ADOLPHS *et al.*, 2015).

Nakagawa *et al.*, (2021) evidenciaram que o modelo RAMI4.0 se mostra o mais estudado e difundido entre as arquiteturas de referência já citadas, quando se busca o tema nas bases de pesquisa Scopus e Web of Science. O modelo de arquitetura RAMI4.0 contribui para o desenvolvimento de aplicações da I4.0, apresentando um caminho para a integração dos componentes e produtos em toda a rede (VEIGA *et al.*, 2021). Çınar, Zeeshan e Korhan (2021) avaliaram recentemente a maturidade do modelo RAMI4.0 em relação à implementação e

integração da I4.0. Tal estudo explorou soluções para integração da I4.0 para obter o máximo potencial da I4.0.

O modelo tridimensional RAMI4.0 descreve o espaço da I4.0 e de todos os componentes cruciais representado por uma estrutura baseado em (1) ciclo de vida e fluxo de valor, (2) camadas, e (3) níveis de hierarquia (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2017). Na dimensão ciclo de vida e fluxo de valor do modelo RAMI4.0 é apresentado o processo de produção industrial. Essa dimensão leva em consideração as etapas de desenvolvimento e produção, em relação aos produtos. Essa dimensão possui duas fases: 'Tipo' e 'Instância'. Quando o produto está em desenvolvimento, está na fase Tipo. Quando o produto está em produção, está na fase de Instância. Quando os clientes compram produtos, os produtos estão na fase Tipo novamente. Quando os produtos são instalados em um sistema, eles estão novamente na fase de Instância.

Em relação à dimensão camadas no modelo de arquitetura RAMI4.0 são apresentadas as seguintes: i) camada de negócios - compreende as funções de mapear modelos e processos de negócios, e definem regras e regulamentos. A camada de negócios está relacionada a estratégia da empresa; ii) camada funcional - descreve, modela e integra formalmente serviços/atividades; iii) camada de informação - suporta no pré-processamento de eventos, execução de regras, análise de dados e garantia de qualidade; iv) camada de comunicação - suporta na comunicação e fornece serviços de controle; v) camada de integração - fornece informações sobre ativos e permitem controle auxiliado por computador, geração de eventos, conectividade e virtualização de componentes. É nessa camada que ocorrem as transformações e conexões dos objetos físicos para o mundo digital por meio do processamento das informações; e, por fim, vi) camada de ativos - mostra os objetos físicos de uma fábrica.

Já a dimensão níveis hierárquicos de manufatura é baseada nos padrões internacionais para integração de sistemas de controle corporativo (IEC 62264 e IEC 61512) (ADOLPHS *et al.*, 2015). Na parte inferior - 'Dispositivo de Campo' - permite o controle de máquinas ou sistemas de forma inteligente, por meio dos sensores inteligentes, e leva em consideração a homogeneidade do produto a ser fabricado e as instalações de produção com suas interdependências (ADOLPHS *et al.*, 2015). No topo, a camada '*Connected World*', representa a fábrica inteligente que pode ir além de seus limites e alcançar parceiros externos por meio de redes de serviços colaborativos. Uma característica especial que se pode destacar do modelo RAMI 4.0 é sua combinação entre ciclo de vida e fluxo de valor com uma abordagem hierarquicamente estruturada para a definição de componentes para a I4.0 (DORST *et al.*, 2016). O conceito central no RAMI 4.0 é construído em torno da conformidade/padronização

de componentes para a I4.0, como produto, ativo, software ou máquina, referindo-se a objetos que têm a capacidade de se comunicar de forma independente (PEDONE e MEZGÁR, 2018).

Para gerenciar de maneira eficiente a função de PSM as tecnologias avançadas da I4.0 são identificadas como cada vez mais importantes e assumem um papel fundamental. Elas incluem o *Blockchain* que pode ser utilizado para contratos inteligentes (PANKAJ *et al.*, 2020), RFID para rastreabilidade de materiais no estoque (GLADYSZ, 2020), Power BI com o objetivo de fornecer visualizações interativas e *business intelligence* – análise de negócios (WRIGHT e WERNECKE, 2020), *Web-based technology* (GREEN, 2019), Internet das Coisas (GLAS e KLEEMANN, 2016), análise preditiva e *big data* (SCHOENHERR e SPEIER-PERO, 2015), ERP e Mobile (PAVIN e KLEIN, 2015), sistemas de *e-procurement* para utilização de portais colaborativos entre empresa e fornecedores (Alvarez-Rodríguez *et al.*, 2014) e tecnologia digital baseada na web (GALLEAR, GHOBADIAN e O'REGAN, 2008). Essas tecnologias podem desempenhar um papel valioso no futuro da função PSM, em direção a um ecossistema de cadeia de suprimentos mais inteligente e conectado (SCHRAUF e BERTTRAM, 2016). As potenciais áreas para aplicação das tecnologias emergentes da I4.0 na cadeia de suprimentos podem incluir: sustentabilidade da cadeia de suprimentos (MANAVALAN e JAYAKRISHNA, 2019), compras (HOPKINS e SOHAL, 2019; GLAS e KLEEMANN, 2016), logística (HOPKINS e HAWKING, 2018; HOFMANN e RÜSCH, 2017), gestão do relacionamento com o cliente (Saucedo-Martínez *et al.*, 2018), armazenamento (LEE *et al.*, 2018) e otimização da cadeia de suprimentos (TJAHJONO *et al.*, 2017). Especificamente, este artigo usa a lente teórica do modelo RAMI4.0 numa perspectiva tridimensional para investigar a adoção de projetos da I4.0 no contexto de PSM.

3 METODOLOGIA

Para essa pesquisa foi adotada a estratégia de estudo de caso com abordagem qualitativa no departamento de PSM de uma empresa siderúrgica brasileira. Yin (1981) afirma que os estudos de caso permitem o estudo de um determinado fenômeno em um contexto da vida real, principalmente quando os limites entre um fenômeno e seu contexto não são evidentes. O presente estudo de caso permitiu explorar os fenômenos de transformação digital da função PSM, por meio da análise da aderência do modelo tridimensional RAMI4.0 no contexto do PSM. A escolha da empresa foi intencional, pois a mesma atravessa esse momento de digitalização de suas atividades, funções e processos com o propósito de gerar valor para os

clientes, tanto externos (clientes finais), quanto internos (departamentos requisitantes dos serviços de compras).

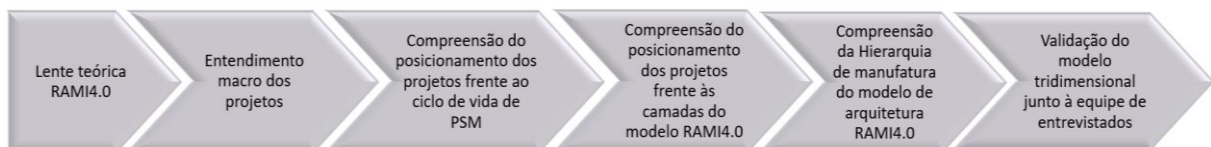
A empresa analisada apresenta uma certa complexidade e dinamismo da função PSM, uma vez que existem diferentes divisões de negócios, (mineração, biofloresta, siderurgia e trefilaria) e diversas unidades espalhadas pelo Brasil. Em termos de estrutura hierárquica, o departamento de compras e suprimentos tem 01 diretora responsável em nível nacional pelo PSM, 3 gerentes gerais, sendo responsáveis por categorias de compras específicas, gerentes locais das usinas, analistas e técnicos de compras e almoxarifado. O total de funcionários do PSM é de aproximadamente 320 pessoas em nível nacional.

Em relação à estrutura da diretoria de PSM existe um escritório central, responsável pelos contratos centrais a nível Brasil. Essa equipe negocia os contratos comuns entre as usinas, quais sejam: energia, matérias-primas, sobressalentes e serviços, de modo a trazer sinergia e ganhos de escala.

Já em cada usina siderúrgica, o PSM é subdividido em 02 equipes: i) compras – responsável pelas cotações, negociações, contratações locais de itens emergenciais e fora de contrato, ou seja, que não estão em um contrato central. Além disso, é responsável pelo acompanhamento de pedidos; ii) almoxarifado – responsável pelos processos de recebimento, conferência, armazenamento, lançamento de notas fiscais e distribuição de materiais. A função PSM nas usinas acaba sendo mais tática e operacional, pois o foco maior é dado no dia a dia das operações e abastecimento das usinas.

A pesquisa foi dividida em 6 etapas, conforme apresentado na Figura 1.

Fig. 1: Etapas da pesquisa.



A primeira etapa, lente teórica, foi baseada no protocolo e estrutura que compreendeu os processos de PSM, nas três dimensões do modelo de arquitetura RAMI4.0, ciclo de vida, camadas e hierarquia. Esta etapa teve como objetivo compreender o modelo RAMI4.0. Na segunda etapa, entendimento macro dos projetos e seus objetivos estratégicos, foi realizada a coleta de dados junto ao PSM das usinas de longos Brasil que se baseou em três métodos combinados: observação participante, análise documental e entrevistas. A observação participante ocorreu no último trimestre de 2021, em que foi acompanhado o processo de

planejamento estratégico da diretoria de PSM no Brasil. Esse processo resultou em um documento da empresa denominado “Planejamento Estratégico de Suprimentos – Longos Brasil 2022”. A análise documental refere-se à análise desse documento elaborado com o objetivo de identificar informações relevantes e necessárias para a condução da pesquisa. A partir dessa análise, foram identificados seis projetos estratégicos, relativos à adoção da I4.0 no PSM: i) aplicação da metodologia *strategic sourcing*; ii) implantação de sistema RFID; III) implementação de inspeção técnica; iv) lançamento de NF automático; v) otimização dos pontos de entrega na usina; e, vi) reestruturação do layout dos almoxarifados.

Para levantar informações detalhadas desses projetos, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com seis profissionais de PSM (ver Quadro 1) com o objetivo de compreender cada um dos projetos estratégicos e seus objetivos, além das lacunas que tais projetos visam resolver e as oportunidades de melhorias. As entrevistas foram conduzidas, em sua maioria, de forma online em função de alguns entrevistados estarem em outras regiões do país, e outras foram presenciais de acordo com a disponibilidade de agenda dos entrevistados. A duração média de cada entrevista foi de 45 minutos e em alguns casos as entrevistas aconteceram mais de uma vez com o mesmo entrevistado, devido à complexidade de alguns projetos.

Quadro 01 – Relação de entrevistados por projeto.

Projeto Estratégico	Entrevistas			Validação do modelo bidimensional
	Entrevistados	Duração 1°	Duração 2°	
Metodologia de Strategic Sourcing	Gerente de Suprimentos ¹	42 min online	38 min online	Participação de mais 12 profissionais da diretoria de suprimentos. Duração: 01 hora. online
Implementação de Inspeção técnica	Analista de Suprimentos ¹	55 min	35 min	
Reestruturação do layout dos Almoxarifados	Supervisor de Almoxarifado	58 min	32 min online	
Lançamento de NF automático	Supervisor de Almoxarifado	39 min	30 min online	
Implantação de Sistema RFID	Supervisor de Almoxarifado; Analista de Suprimentos ²	52 min online	30 min online	
Otimização dos pontos de entrega na Usina	Gerente de Suprimentos ² ; Analista de Suprimentos ³	45 min online	33 min	

As entrevistas foram direcionadas por duas perguntas realizadas: (i) “Qual a relevância estratégica de cada projeto?” e (ii) “O que é esperado de positivo após a implementação dos projetos?”. Esse roteiro de entrevistas ajudou a aumentar a confiabilidade na fase de coleta de dados (Yin, 2003).

A terceira e quarta etapas referem-se à compreensão das dimensões do modelo de arquitetura RAMI4.0 no contexto do PSM. E, para isso, também foram realizadas novas entrevistas com os mesmos profissionais com o objetivo de posicionar os projetos executados na empresa, segundo as dimensões, ciclo de vida, camadas e hierarquia de manufatura do modelo de arquitetura RAMI4.0. As perguntas realizadas nessas etapas foram: (i) “Considerando o projeto sob sua responsabilidade, em qual fase do ciclo de vida você julga que ele se refere?” e (ii) “Considerando o projeto sob sua responsabilidade, em qual camada você julga que ele se refere?”

A dimensão ciclo de vida, no contexto dessa pesquisa compreende as etapas de PSM, que englobam compras e almoxarifado. Já em relação às camadas do RAMI4.0 no contexto de PSM, tem-se: mundo físico; integração; informação / comunicação e negócio. Então, foi realizado o desdobramento dos projetos nas dimensões ciclo de vida e camada. E dessa forma, obteve-se o modelo teórico confrontando a teoria e o contexto prático.

A quinta etapa refere-se ao posicionamento dos projetos executados no PSM segundo à dimensão hierarquia de manufatura do RAMI4.0. Essa fase representa a análise de dados que foram coletados nas etapas anteriores. Depois do desdobramento dos projetos e do entendimento das tecnologias adotadas para implementação desses projetos, a dimensão hierarquia de manufatura pôde ser desdobrada com base no conceito do modelo tridimensional RAMI4.0.

Por fim, na sexta etapa foi realizada a validação do modelo final junto à equipe (grupo focal) por meio de uma reunião com representantes de todos os projetos para validar o modelo tridimensional à luz do RAMI4.0. Essa reunião aconteceu de forma remota com a participação dos 06 entrevistados nas etapas anteriores, além de outros 12 profissionais de PSM (técnicos de compras, técnicos de almoxarifados, analistas e gerentes de suprimentos). Dessa forma, totalizaram 16 profissionais. A duração dessa reunião foi de 01 hora e contou com duas perguntas norteadoras: (i) “Tendo em vista o posicionamento das tecnologias segundo às três dimensões do RAMI4.0 apresentado, vocês concordam com este posicionamento, ou gostariam de fazer ajustes ou modificações?” e (ii) “Quais os ganhos efetivos para o PSM cada projeto apresentará?”

Dessa forma, as respostas dos entrevistados, bem como a interação com o grupo focal foram significativamente importantes para a validação do modelo tridimensional proposto. O conhecimento dos entrevistados em relação aos projetos e da área PSM também foi fundamental para o sucesso da pesquisa.

4 RESULTADOS

Os entrevistados compartilharam ideias e percepções acerca dos projetos estratégicos analisados de modo a contribuir com o sucesso na implementação desses projetos. Esta seção apresenta os resultados qualitativos que suportam na caracterização do modelo tridimensional proposto.

4.1 A função PSM da Siderurgia e os Projetos Estratégicos analisados

Com o intuito de caracterizar os seis projetos estratégicos do departamento de PSM, foi elaborado o Quadro 2 a fim de apresentar a finalidade, o objetivo estratégico, a categoria de compra envolvida e as tecnologias para cada um dos projetos.

Quadro 2 – Caracterização dos projetos analisados.

Projeto Estratégico	Finalidade do Projeto Estratégico	Objetivo Estratégico	Categoria de compra envolvida	Tecnologias por projeto
Aplicar metodologia de strategic sourcing	Avaliação técnica e estratégica das fontes de fornecimento da empresa. Abertura de concorrência frequente para identificar os melhores fornecedores que se qualificam nos quesitos: custo, risco e benefício.	Aumentar a cobertura contratual na aquisição de materiais; e Reduzir riscos operacionais de interrupções e desabastecimento.	Matéria Prima e Sobressalentes	Power BI, Analytics, ERP
Implantação de Sistema RFID	Rastreabilidade dos estoques de matérias primas ponto a ponto nas usinas.	Eliminar controles manuais na transferência de matérias primas.	Matéria Prima	Etiquetas com chip / antenas, ERP
Implementação de Inspeção técnica	Avaliação dos sobressalentes quanto ao nível de exigência de qualidade esperado.	Garantir conformidade (qualidade) de itens críticos de estoque.	Sobressalentes	QR code, Mobile, ERP
Lançamento de NF automático	Automatização de atividade manual.	Aumentar produtividade e assertividade desse processo.	Sobressalentes	ERP
Otimização dos pontos de entrega na Usina	Padronização dos pontos de entrega de materiais nas usinas.	Aumentar produtividade na distribuição e entrega de materiais do Almoarifado para as áreas requisitantes.	Sobressalentes	Smart locker, Biometria, ERP
Restruuturação do layout dos Almoarifados	Otimização do espaço físico dos almoarifados e armazenamento inteligente com base nas características/dimensões das embalagens e critérios de giro de estoque.	Otimizar espaços de armazenamento/espacos físicos.	Matéria Prima e Sobressalentes	Software de simulação, ERP

A partir da estruturação do Quadro 2, foi possível desdobrar as ações e recursos necessários para o desenvolvimento e implementação dos projetos. Observou-se que somente um projeto é direcionado exclusivamente para a categoria de matéria-prima, três são exclusivos para sobressalentes e dois envolvem as duas categorias. O *Enterprise Resource Planning* (ERP) foi considerado um sistema informatizado que relaciona com as demais tecnologias envolvidas nos diferentes projetos.

4.2 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão Ciclo de vida do RAMI4.0

O posicionamento dos projetos de PSM segundo a dimensão ciclo de vida do RAMI4.0 se baseou em dois macroprocessos, o macroprocesso de compras, e o de gestão do almoxarifado. Como apresentado na seção de revisão da literatura de PSM – 2.1 – a função de compras representa a parte comercial e de relacionamento com os fornecedores e a função de almoxarifado a gestão física dos materiais adquiridos pela empresa. Destaca-se que enquanto o RAMI4.0 é normalmente aplicado ao posicionamento de projetos e tecnologias na manufatura. Neste estudo, ele foi utilizado para posicionar os projetos da função PSM de um grupo siderúrgico.

O processo de compra é apresentado de modo linear com base no surgimento da demanda de aquisição de materiais ou serviços. Esta informação é recebida das áreas clientes internas das usinas. Assim que a solicitação/requisição de compras é aprovada, é dado início ao fluxo de compra de materiais. A etapa de compras engloba: cotação (consulta ao mercado / abertura de concorrência); negociação (reabertura das rodadas de negociação objetivando redução de custos); contratação (fechamento da concorrência/emissão do pedido ou contrato de compra); e acompanhamento do pedido até a chegada do mesmo na usina requisitante).

No almoxarifado as etapas de processos são divididas em recebimento / conferência de materiais; armazenamento (acomodação dos itens no estoque conforme posição pré-definida para cada material; lançamento da nota fiscal (registro de entrada do pedido); e distribuição que compreende na entrega do material para o requisitante na área. Considerando essas etapas dos dois macroprocessos, os projetos foram posicionados no ciclo de vida de acordo com as etapas que serão impactadas. O resultado desse posicionamento encontra-se no Quadro 3, representando, dessa forma, o posicionamento dos projetos em relação à dimensão ciclo de vida.

Quadro 3: Posicionamento dos projetos em relação à dimensão ciclo de vida.

Projetos Suprimentos Planejamento Estratégico 2022									
	Compras				Almoxarifado				
	Cotação	Negociação	Contratação	Follow up	Recebimento	Conferência	Armazenamento	Lançamento NF	Distribuição
Matéria prima	-	-	Aplicar metodologia de strategic sourcing	-	-	-	Reestruturação do layout dos Almoxarifados	Lançamento de NF automático	Implantação de Sistema RFID
Sobres-salentes	-	-		-	Implementação de Inspeção técnica				Otimização dos pontos de entrega na Usina

Levando em consideração os projetos priorizados, algumas das etapas de PSM não serão cobertas por esses projetos, por isso foi colocado “n/a” em algumas células do Quadro. Alguns dos projetos são específicos para a categoria de matérias-primas, e outros específicos para a categoria de sobressalentes. Nos casos em que os projetos são aplicáveis em ambas as categorias, as células das tabelas foram mescladas, com o intuito de cobrir as duas categorias apresentadas.

4.3 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão camadas do modelo de arquitetura RAMI4.0

A dimensão “camadas” da arquitetura RAMI4.0 seguiu o mesmo raciocínio da dimensão ciclo de vida em termos de posicionamento de projetos e categorias de compras. As camadas, no entanto, foram customizadas com base nas camadas apresentadas no modelo RAMI4.0. As camadas são apresentadas na primeira coluna do Quadro 4, na sequência os projetos estratégicos e, por fim, a categoria envolvida. Para posicionar os projetos nas camadas, foi levado em consideração os impactos e relevância estratégica de cada projeto. O projeto de implementação da metodologia de “*strategic sourcing*” foi compreendido como um projeto estratégico que impacta o negócio da empresa, na medida em que contratações e parcerias de fornecimento estratégicos tem grande potencial. Por isso esse projeto foi posicionado na camada de negócios. Os demais projetos foram compreendidos como táticos, pois estão relacionados a processos relevantes e de ganhos de produtividade, porém não se caracterizam como estratégicos. Nesse sentido, eles foram posicionados nas camadas intermediárias do modelo. Nenhum projeto foi compreendido na camada mundo físico.

Quadro 4: Posicionamento dos projetos em relação à dimensão camadas.

Camadas	Projeto Estratégico	Categoria de compra envolvida
Negócio	Metodologia de Strategic Sourcing	Matéria Prima e Sobressalentes
Informação / Comunicação	Implementação de Inspeção técnica	Sobressalentes
	Restruturação do layout dos Almoarifados	Matéria Prima e Sobressalentes
	Lançamento de NF automático	Matéria Prima e Sobressalentes
Integração	Implantação de Sistema RFID	Matéria Prima
	Otimização dos pontos de entrega na Usina	Sobressalentes
Mundo Físico	n/a	Matéria Prima e Sobressalentes

A camada “mundo Físico” é a primeira camada, que tradicionalmente é representada pelo ativo, produto ou processo no modelo RAMI4.0. No presente estudo essa camada é compreendida como os materiais comprados, que nesse sentido são as matérias-primas ou sobressalentes, em que também, são apresentados os ativos físicos.

A camada de “integração”, por sua vez, foi compreendida como a integração dos materiais no mundo digital. Foi possível observar quais os sistemas e/ou dispositivos estavam disponíveis para a digitalização dos processos. A camada “informação / comunicação” demonstra o acesso à informação. E, por fim, a camada “negócio” é representada pela estratégia da diretoria de suprimentos.

4.4 Posicionamento dos projetos de PSM na dimensão hierarquia de manufatura do modelo de arquitetura RAMI4.0

A dimensão “hierarquia de manufatura” foi coberta com base na conceituação do modelo RAMI4.0. Tal dimensão é compreendida em sistemas e flexíveis e funções distribuídas por toda a rede, de modo que todos os envolvidos sejam capazes de se comunicar. Conforme o Quadro 5, para cada nível hierárquico do modelo de arquitetura RAMI4.0, considerando desde o nível inferior de produto até o nível superior de mundo externo, foram apresentados os dados coletados na pesquisa.

Quadro 5: Posicionamento dos projetos em relação à dimensão hierarquia de manufatura.

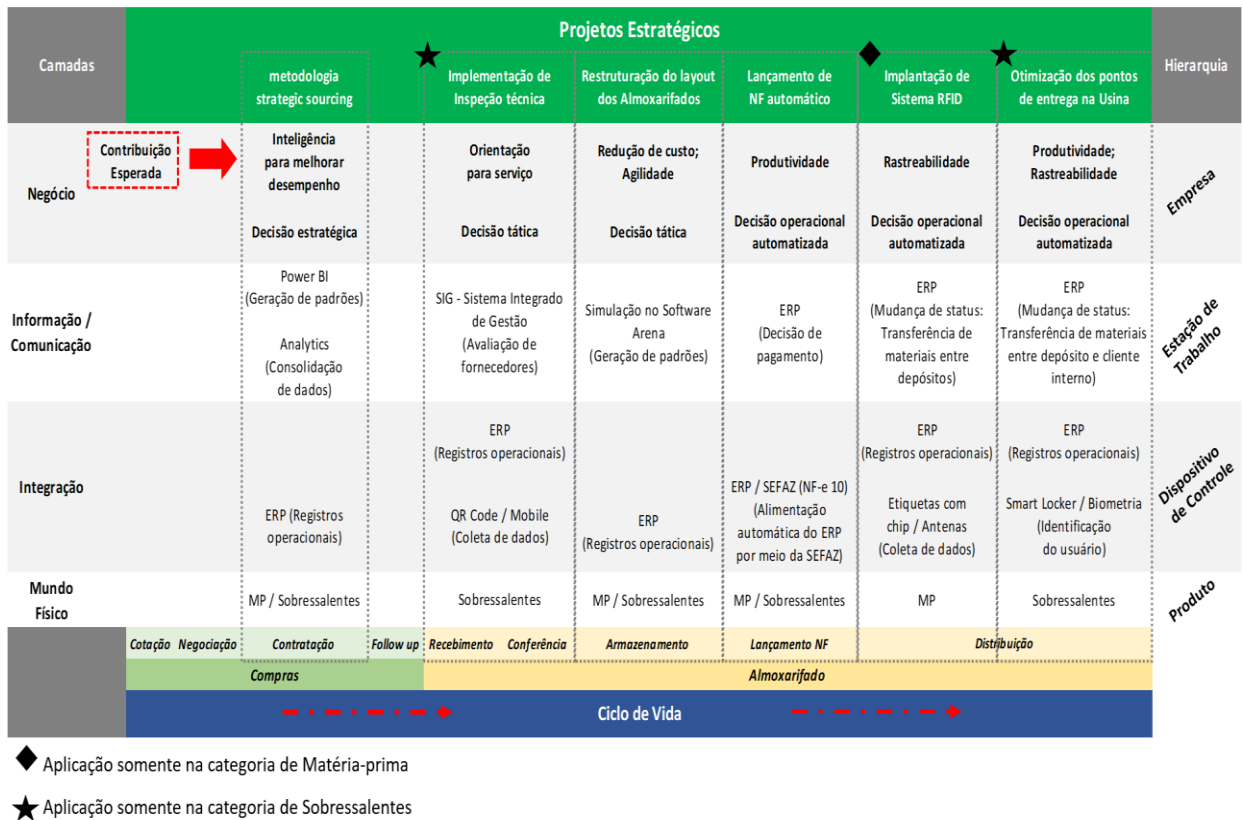
Hierarquia de Manufatura	Projetos Estratégicos de PSM					
	Metodologia de Strategic Sourcing	Implementação de Inspeção técnica	Restruturação do layout dos Almoxxarifados	Lançamento de NF automático	Implantação de Sistema RFID	Otimização dos pontos de entrega na Usina
Mundo externo / conectado	-					
Empresa	X	-				
Estações de trabalho	X					
Dispositivos de campo/controle	-	X	-	-	X	-
Produto	X					

Observa-se que não há projeto posicionado no nível hierárquico “mundo externo / conectado”, uma vez que os projetos analisados estão mais restritos à gestão de PSM interna à empresa.

4.1.5 Representação do modelo de arquitetura RAMI4.0

Para a elaboração do modelo de arquitetura RAMI4.0 proposto no contexto dessa pesquisa foi necessário realizar o cruzamento das dimensões ciclo de vida, camadas e hierarquia de manufatura com os projetos e suas tecnologias, ora implementados no grupo siderúrgico estudado. Tal resultado é apresentado na Figura 2:

Fig. 2: Posicionamento dos projetos no modelo tridimensional (ciclo de vida x camadas x hierarquia de manufatura).



Na camada negócio é detalhado em qual tipo de decisão (estratégica, tática, operacional) cada projeto atua. Além disso, nessa camada tem-se os objetivos estratégicos. Para ilustrar o desdobramento das camadas para o projeto “implementação da inspeção técnica” tem-se que o projeto atua no mundo físico nos sobressalentes, diretamente da etapa recebimento de conferência. Uma informação relevante que deve ser destacada é a contribuição esperada com a implementação dos projetos estratégicos na função PSM. Tal informação é demonstrada no topo do modelo, logo acima da camada de negócio.

Um aspecto interessante dos projetos é que embora sejam estratégicos para a diretoria de PSM, a camada de negócio aponta que a maior parte das decisões são operacionais, parte das decisões é tática, e somente em um dos projetos (aplicação da metodologia de *strategic sourcing*) a decisão é estratégica. Na camada de informação / comunicação, o sistema ERP se destaca para acesso de informações. O sistema *Business Intelligence (Power BI)*, que também aparece nessa camada, gera padrões para análises e tomada de decisão. Outros sistemas integrados de gestão e software de simulação são apresentados nessa camada.

Na camada de integração o sistema ERP também se destaca para os registros operacionais. O *QR code / mobile* é um sistema de coleta de dados que está sendo fundamental

para a inspeção técnica de materiais e para o projeto de “implantação de Sistema RFID” a coleta de dados se dará com auxílio de etiquetas com chips e antenas espalhadas pelo depósito de materiais e portarias, para registrar tais movimentações. Já no projeto de “otimização dos pontos de entrega na usina” a tecnologia utilizada é denominada *smart locker*, que, por meio da biometria do requisitante do material, será acusado o recebimento.

Os registros operacionais, coleta de dados e consolidação de dados entre os sistemas de gestão e sistemas auxiliares de interface ao ERP foram verificados em cada camada. O ERP atende os padrões de integração da empresa conectando o mundo físico com o virtual. Para baixo do ERP a capacidade de coleta de dados aumentou consideravelmente, com sensores, *QR codes* e RFID. Para cima do ERP aumenta a capacidade de extrair padrões por meio do *Power BI, Analytics*, (Comunicação / Informação).

O projeto “*strategic sourcing*” é o único que trabalha na decisão estratégica (indicador estratégico). Os outros projetos trabalham com decisões técnicas e operacionais, com indicadores mais no nível de processo. Dessa forma, representa também uma contribuição para a literatura ao tentar desdobrar o nível de negócio do modelo RAMI4.0.

5 DISCUSSÕES

Esta seção apresenta as contribuições teóricas e práticas do trabalho.

5.1 Contribuições para a teoria

O artigo oferece três contribuições principais. A primeira contribuição é a adaptação da arquitetura de referência RAMI4.0 para o contexto do PSM, uma vez que foi originalmente concebida para o contexto da manufatura (GREFEN *et al.*, 2022; ÇINAR, ZEESHAN e KORHAN, 2021; MURUGAIYAN e RAMASAMY, 2021). Dessa forma, o estudo contribui para a literatura sobre aplicação da arquitetura RAMI4.0 no contexto do PSM. Ao que parece, os estudos são voltados para a manufatura (LINS e OLIVEIRA 2020; FRAILE *et al.*, 2019; RESMAN, *et al.*, 2019; SHARPE, *et al.*, 2019; YLI-OJANPERA, *et al.*, 2019; MOGHADDAM, *et al.*, 2018; LI, *et al.*, 2018). O presente estudo fez a adaptação da arquitetura teórica para o contexto do PSM com destaque para a dimensão ciclo de vida. Originalmente, a arquitetura contempla as etapas de desenvolvimento e produção de produtos. No nosso estudo o ciclo de vida foi adaptado para as etapas dos processos de PSM, que compreende em compras e almoxarifado, com o desdobramento de cada fase do processo.

A segunda contribuição refere-se à validação empírica da arquitetura de referência apresentada. A arquitetura apresentada permitiu analisar o nível de abrangência dos projetos de PSM nas três dimensões, ciclo de vida, camadas e hierarquia. Além disso, este estudo permitiu identificar as tecnologias utilizadas em cada projeto, categorizá-las e ordená-las segundo a lógica da arquitetura RAMI4.0. Este projeto apresentou um framework que mostra a digitalização do PSM de uma empresa, à luz da lente teórica da arquitetura RAMI4.0. Com efeito ele une dois pontos da literatura ainda não relacionados, quais sejam, aquele que trata dos processos do PSM (PEREIRA, 2020; SCHUTZ *et al.*, 2020 e VAN WEELE 2009), e os que tratam da arquitetura RAMI4.0 (ÇINAR, ZEESHAN e KORHAN, 2021).

Como terceira contribuição, analisando o framework apresentado, observou-se que as tecnologias da I4.0 mais utilizadas são mais aplicáveis ao contexto de sobressalentes. Existem projetos específicos para os sobressalentes que não podem ser aplicados no contexto de matérias-primas, e o único projeto de matéria-prima está sendo estudado a sua aplicação no contexto dos sobressalentes. Isso se deve à complexidade e capilaridade da categoria de produtos “sobressalentes”. Os sobressalentes exigem um maior controle e rastreamento, além de gerar maior volume de informações. O resultado é que a aplicação da I4.0 no PSM depende do tipo de produto que está sendo gerido.

5.2 Contribuições para a prática

A pesquisa também possui implicações práticas. A arquitetura tridimensional proposta, fornece aos profissionais de PSM um roteiro robusto para avaliar a aderência de projetos estratégicos para a adoção da I4.0 na função PSM, possibilitando que tais profissionais tenham condições de escolher a estratégia mais adequada dependendo do contexto da empresa. Outro aspecto relevante é a visão instrumental que o modelo apresenta às empresas, atrelando a implementação de cada projeto aos benefícios gerados. Os resultados mostram que a conveniência de adotar tais estratégias de adoção da I4.0 na função PSM é fortemente influenciada por produtividade, redução de custo, agilidade, rastreabilidade, orientação para serviço e inteligência.

A representação dos projetos na arquitetura proposta permitiu agrupar os projetos em uma mesma estrutura conceitual, com alto nível de abrangência, desdobrando as camadas desde o nível físico (de coleta de dados) até o nível decisório. As tecnologias envolvidas nos projetos dão suporte desde as decisões operacionais até as estratégicas. Observou-se uma distinção entre a aplicabilidade de alguns projetos em relação aos dois tipos de materiais, matérias-primas e

sobressalentes. O projeto “implementação de inspeção técnica”, por exemplo, é mais aplicável aos itens sobressalentes, pois é fundamental que seja garantido a conformidade (qualidade) dos itens recebidos para estoque. As matérias-primas não precisam ser inspecionadas dessa forma, já que uma amostragem é testada em laboratório. Outro exemplo é o projeto de “implantação de sistema RFID” que cobre a categoria de matérias-primas somente. A explicação para isso é que as matérias-primas são enviadas em bags num fluxo contínuo e em grande volume. Com a implementação desse projeto o controle na transferência de matérias-primas e rastreabilidade aumentarão substancialmente. Por fim, o projeto “Otimização dos pontos de entrega na Usina” apresenta certa complexidade em função dos vários pontos de entrega/descarga na usina siderúrgica e, por isso, o projeto é aplicável somente no contexto dos sobressalentes.

6 CONCLUSÕES

A escolha da arquitetura RAMI4.0 no contexto da presente pesquisa se deu em função dele permitir a customização para diferentes aplicações da indústria e pelo fato de também haver mais materiais para estudos disponíveis. A arquitetura RAMI4.0 é a mais popular quando se busca o tema nas bases de pesquisa, Scopus e Web of Science. Em um comparativo de buscas o termo “RAMI 4.0” retornou 262 documentos, enquanto outras arquiteturas retornaram menos de 20 (NAKAGAWA *et al.*, 2021). De acordo com Adolphs *et al.*, (2015), o RAMI 4.0 reúne conceitos de integração vertical, integração horizontal, engenharia de ponta a ponta e ciclo de vida.

Nossa questão de pesquisa, “como os projetos de adoção de tecnologias da I4.0, no contexto de PSM, podem ser caracterizados segundo as dimensões: ciclo de vida, camadas e hierarquia da arquitetura RAMI4.0?” foi respondida ao caracterizar os projetos estratégicos de PSM no contexto da I4.0. Tal arquitetura foi apresentada de maneira customizada ao adaptar o mesmo para o contexto de PSM de um grupo siderúrgico. Deste modo, este estudo mostra que esta arquitetura, inicialmente concebida para modelagem de tecnologias da I4.0 em sistemas de manufatura, pode ser estendida para além dos limites desta função, podendo dar suporte a outras funções das empresas, como a função PSM.

Para fornecer um conhecimento mais sólido das arquiteturas tecnológicas, os aspectos fundamentais de estrutura, informação e comunicação, softwares, integração de sistemas e suas interconexões foram analisadas criteriosamente. O ERP se mostrou fundamental nesse contexto de integração de processos com vias à digitalização. Também identificou-se que todos os

softwares e plataformas externos quando integrados ao ERP podem gerar registros de informações e padrões de análise importantes para a tomada de decisão.

A Figura 2 (Posicionamento dos projetos na arquitetura tridimensional ciclo de vida x camadas x hierarquia de manufatura) apresentada mostra como o ERP se destaca nas camadas de integração, informação / comunicação. Analisando a dimensão ciclo de vida, que compreende as etapas do processo de PSM, o ERP aparece em todos os processos. Na dimensão hierarquia o ERP também aparece como dispositivo de controle e na estação de trabalho. Dessa forma, os sistemas ERPs representam um importante elemento para a implantação de projetos da I4.0.

Como limitações da pesquisa, foram avaliados somente 6 projetos, já pré-definidos pelo departamento de PSM. Pesquisas futuras deverão avaliar outros projetos estratégicos aplicados à função PSM para fornecer aos profissionais da área um roteiro ainda mais robusto, a fim de selecionar as estratégias mais apropriadas para a adoção da I4.0 em PSM.

Quanto aos sistemas de gestão utilizados para suporte de digitalização da função PSM é amplamente reconhecido que tais sistemas alavancam a digitalização nas empresas. A empresa estudada utiliza o Microsoft Azure como arquitetura tecnológica. No entanto, outros sistemas e arquiteturas provavelmente poderão ser investigados para compreender o comportamento da digitalização da função PSM nesta empresa.

REFERÊNCIAS

ADOLPHS, Peter et al. Reference architecture model industrie 4.0 (rami4. 0). ZVEI and VDI, Status report, 2015.

ALVAREZ-RODRÍGUEZ, Jose María; LABRA-GAYO, José Emilio; DE PABLOS, Patricia Ordoñez. New trends on e-Procurement applying semantic technologies: Current status and future challenges. **Computers in Industry**, v. 65, n. 5, p. 800-820, 2014.

BALS, Lydia et al. Purchasing and supply management (PSM) competencies: Current and future requirements. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 25, n. 5, p. 100572, 2019.

BOYES, Hugh et al. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in industry**, v. 101, p. 1-12, 2018.

BU, Xiangzhi et al. Environmental orientation, green supply chain management, and firm performance: Empirical evidence from chinese small and medium-sized enterprises. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 4, p. 1199, 2020.

BUENABAD-CHAVEZ, Jorge et al. Towards a methodology for RAMI4. 0 service design. In: **2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES)**. IEEE, 2018. p. 188-195.

CALDAS, Narciso et al. A simulation approach for spare parts supply chain management. In: **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, July. 2019. p. 23-26.

CARNOVALE, Steven; DUHADWAY, Scott. Continuity in the face of disruptions: Purchasing and supply management Research's persistence amidst COVID-19. **Journal of Purchasing and Supply Management**, 2021.

CARR, Amelia S.; SMELTZER, Larry R. An empirical study of the relationships among purchasing skills and strategic purchasing, financial performance, and supplier responsiveness. **Journal of supply chain management**, v. 36, n. 2, p. 40-54, 2000.

CHONG, Li; RAMAKRISHNA, Seeram; SINGH, Sunpreet. A review of digital manufacturing-based hybrid additive manufacturing processes. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 5, p. 2281-2300, 2018.

ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A Framework for Industry 4.0 Readiness and Maturity of Smart Manufacturing Enterprises: A Case Study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 2021.

CIPS. 2020. Disponível em: <https://www.cips.org/en-gb/cips-for-individuals/what-is-procurement/>. Acesso em: 6 fev. 2022.

COUSINS, Paul D.; LAWSON, Benn; SQUIRE, Brian. An empirical taxonomy of purchasing functions. **International Journal of Operations & Production Management**, 2006.

CRESPI, Gustavo; CRISCUOLO, Chiara; HASKEL, Jonathan. Information technology, organisational change and productivity. 2007.

DORST, W., GLOHR, C., HAHN, T., KNAFLA, F., LOEWEN, U., ROSEN, R., SANDNER, M. Implementation strategy Industrie 4.0: Report on the results of the Industrie 4.0 Platform <<https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/ImplementationStrategy-Industrie-40-Report-on-the-results-of-the-Industrie-40-Plattform.html>>. Acesso em: 6 fev. 2022.

DUTTA, Pankaj et al. Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. **Transportation research part e: Logistics and transportation review**, v. 142, p. 102067, 2020.

FERNANDES, Júlio; SILVA, Sérgio; REIS, Luciana. Roadmap for the Adoption of Smart Supply Chain. **Proceedings of 16th European Conference on Innovation and Entrepreneurship**, v. 2, p. 1254-1263, 2021. DOI:10.34190/EIE.21.171

FOERSTL, Kai et al. Managing supplier sustainability risks in a dynamically changing environment—Sustainable supplier management in the chemical industry. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 16, n. 2, p. 118-130, 2010.

FRAILE, Francisco et al. Reference models for digital manufacturing platforms. **Applied Sciences**, v. 9, n. 20, p. 4433, 2019.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRAZZON, Enzo M. et al. Simulation-Based Analysis of Intelligent Maintenance Systems and Spare Parts Supply Chains Integration. **Journal of Intelligent Systems**, v. 28, n. 1, p. 31-42, 2019.

GAJDZIK, Bożena; WOLNIAK, Radosław. Transitioning of steel producers to the steelworks 4.0—Literature review with case studies. **Energies**, v. 14, n. 14, p. 4109, 2021.

GALLEAR, David; GHOBADIAN, Abby; O'REGAN, Nicholas. Digital/web-based technology in purchasing and supply management: a UK study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2008.

GARAY-RONDERO, Claudia Lizette et al. Digital supply chain model in Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2020.

GLADYSZ, Bartłomiej et al. A method for an integrated sustainability assessment of rfid technology. **Resources**, v. 9, n. 9, p. 107, 2020.

GLAS, Andreas H.; KLEEMANN, Florian C. The impact of industry 4.0 on procurement and supply management: A conceptual and qualitative analysis. **International Journal of Business and Management Invention**, v. 5, n. 6, p. 55-66, 2016.

GREEN, Lawrence et al. To what extent can new web-based technology improve forecasts? Assessing the economic value of information derived from Virtual Globes and its rate of diffusion in a financial market. **European Journal of Operational Research**, v. 278, n. 1, p. 226-239, 2019.

GRFEN, Paul et al. Advancing Smart Manufacturing in Europe: Experiences from Two Decades of Research and Innovation Projects. **Machines**, v. 10, n. 1, p. 45, 2022.

HANKEL, M. & REXROTH, B. **The reference architectural model industrie 4.0 (rami 4.0)**. ZVEI, April. 2015.

HARTMANN, Evi; KERKFELD, Dieter; HENKE, Michael. Top and bottom line relevance of purchasing and supply management. **Journal of purchasing and supply management**, v. 18, n. 1, p. 22-34, 2012.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

HOPKINS, John; HAWKING, Paul. Big Data Analytics and IoT in logistics: a case study. **The International Journal of Logistics Management**, 2018.

HOPKINS, John; SOHAL, Amrik. An investigation into talent shortages in the Australian procurement profession. **Higher Education, Skills and Work-Based Learning**, 2019.

INSTITUTO AÇO BRASIL - IAB. Estatísticas da Siderurgia 4º Trimestre 2020. Rio de Janeiro: IAB, 2021.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC PAS 63088:2017 Smart manufacturing – Reference architecture model Industry 4.0 (RAMI4.0). 2017.

JOHNSON, P. Fraser et al. Supply organizations in North America: A 24 year perspective on roles and responsibilities 1987–2011. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 20, n. 2, p. 130-141, 2014.

KAGERMANN, Henning; LUKAS, Wolf-Dieter; WAHLSTER, Wolfgang. Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. **VDI nachrichten**, v. 13, n. 1, p. 2-3, 2011.

KAMANN, Dirk-Jan F.; DULLAERT, Wout; DE LEEUW, Sander. Preparing for new competitive challenges: special issue on the 24th annual IPSERA conference. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 22, n. 3, p. 155-159, 2016.

KASSNER, Laura et al. The Stuttgart IT architecture for manufacturing. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Springer, Cham, 2016. p. 53-80.

KEOUGH, M. Buying your way to the top. *McKinsey Quarterly*, p. 41-62, 1993.

KHAJAVI, Siavash H.; PARTANEN, Jouni; HOLMSTRÖM, Jan. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. **Computers in industry**, v. 65, n. 1, p. 50-63, 2014.

KNIGHT, Louise et al. Future business and the role of purchasing and supply management: Opportunities for ‘business-not-as-usual’ PSM research. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 28, n. 1, p. 100753, 2022.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, p. 239-242, 2014.

LEE, Carman KM et al. Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2753-2768, 2018.

LEE, Chun Chen. Two-warehouse inventory model with deterioration under FIFO dispatching policy. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 2, p. 861-873, 2006.

LEGENVRE, Hervé; HENKE, Michael; RUILE, Herbert. Making sense of the impact of the internet of things on Purchasing and Supply Management: A tension perspective. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 26, n. 1, p. 100596, 2020.

LI, Xiang. Reducing channel costs by investing in smart supply chain technologies. **Transportation research part E: logistics and transportation review**, v. 137, p. 101927, 2020.

LINS, Theo; OLIVEIRA, Ricardo Augusto Rabelo. Cyber-physical production systems retrofitting in context of industry 4.0. **Computers & industrial engineering**, v. 139, p. 106193, 2020.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of industrial information integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

LUZZINI, Davide et al. The path of innovation: purchasing and supplier involvement into new product development. **Industrial Marketing Management**, v. 47, p. 109-120, 2015.

MANAVALAN, Ethirajan; JAYAKRISHNA, Kandasamy. A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. **Computers & Industrial Engineering**, v. 127, p. 925-953, 2019.

MATT, Christian; HESS, Thomas; BENLIAN, Alexander. Digital transformation strategies. **Business & information systems engineering**, v. 57, n. 5, p. 339-343, 2015.

MOGHADDAM, Mohsen et al. Reference architectures for smart manufacturing: A critical review. **Journal of manufacturing systems**, v. 49, p. 215-225, 2018.

MONCZKA, Robert M. et al. Purchasing and supply chain management. **Cengage Learning**, 2015.

MONTABON, Frank; PAGELL, Mark; WU, Zhaohui. Making sustainability sustainable. **Journal of Supply Chain Management**, v. 52, n. 2, p. 11-27, 2016.

MURUGAIYAN, Pachayappan; RAMASAMY, Panneerselvam. Analyzing interrelated enablers of industry 4.0 for implementation in present industrial scenario. **Management Research Review**, v. 44, n. 9, p. 1241-1262, 2021.

NAKAGAWA, Elisa Yumi et al. Industry 4.0 reference architectures: State of the art and future trends. **Computers & Industrial Engineering**, v. 156, p. 107241, 2021.

NASIRI, Mina et al. Managing the digital supply chain: The role of smart technologies. **Technovation**, v. 96, p. 102121, 2020.

OCHERI, C. et al. The steel industry: a stimulus to national development. **J Powder Metall Min**, v. 6, n. 156, p. 2, 2017.

OPC FOUNDATION. Process Automation Device Information Model (PA-DIM). 2021. Disponível em: <https://opcfoundation.org/markets-collaboration/pa-dim/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

PARITALA, Phani Kumari; MANCHIKATLA, Shalini; YARLAGADDA, Prasad KDV. Digital manufacturing-applications past, current, and future trends. **Procedia engineering**, v. 174, p. 982-991, 2017.

PATRUCCO, Andrea S.; KÄHKÖNEN, Anni-Kaisa. Agility, adaptability, and alignment: new capabilities for PSM in a post-pandemic world. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 27, n. 4, p. 100719, 2021.

PAVIN, Rafael Dalla Porta; KLEIN, Amarolinda Zanela. Organizational consequences of the adoption of mobile erp systems: case studies in Brazil. **JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, p. 219-232, 2015.

PEDONE, Gianfranco; MEZGÁR, István. Model similarity evidence and interoperability affinity in cloud-ready Industry 4.0 technologies. **Computers in industry**, v. 100, p. 278-286, 2018.

PEREIRA, Carla Roberta et al. Purchasing and supply management (PSM) contribution to supply-side resilience. **International journal of production economics**, v. 228, p. 107740, 2020.

RESMAN, Matevž et al. A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. **Adv. Prod. Eng. Manag**, v. 14, n. 2, p. 153-165, 2019.

SAGE, Andrew P.; ROUSE, William B. Handbook of systems engineering and management. John Wiley & Sons, 2014.

SCHIELE, Holger. Early supplier integration: the dual role of purchasing in new product development. **R&d Management**, v. 40, n. 2, p. 138-153, 2010.

SCHIELE, Holger. Supply-management maturity, cost savings and purchasing absorptive capacity: Testing the procurement–performance link. **Journal of purchasing and supply management**, v. 13, n. 4, p. 274-293, 2007.

SCHÜTZ, Kai et al. How to achieve cost savings and strategic performance in purchasing simultaneously: A knowledge-based view. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 26, n. 2, p. 100534, 2020.

SHAO, Xue-Feng et al. Multistage implementation framework for smart supply chain management under industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 162, p. 120354, 2021.

STEIBER, Annika; ALÄNGE, Sverker. The world is changing. In: *The Silicon Valley Model*. Springer, Cham, 2016. p. 1-17.

STEK, Klaas; SCHIELE, Holger. How to train supply managers—necessary and sufficient purchasing skills leading to success. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 27, n. 4, p. 100700, 2021.

The Charity Institute of Purchasing & Supply, 2020. Available in: <https://www.cips.org/en-gb/cips-for-individuals/what-is-procurement/>. (Accessed 6 February 2022).

TJAHJONO, Benny et al. What does industry 4.0 mean to supply chain?. **Procedia manufacturing**, v. 13, p. 1175-1182, 2017.

TOPAN, Engin et al. A review of operational spare parts service logistics in service control towers. **European journal of operational research**, v. 282, n. 2, p. 401-414, 2020.

VAN WEELE, Arjan J. Purchasing and supply chain management: analysis, planning and practice. **Thomson learning**, 2009.

VAN WEELE, Arjan J. Purchasing and supply chain management: analysis, planning and practice. 2018. Seventh ed. Cengage Learning EMEA.

VAN WEELE, Arjan J.; VAN RAAIJ, Erik M. The future of purchasing and supply management research: About relevance and rigor. **Journal of Supply Chain Management**, v. 50, n. 1, p. 56-72, 2014.

VEIGA, Jackson T. et al. A Systematic Modelling Procedure to Design Agent-Oriented Control to Coalition of Capabilities—In the Context of I4. 0 as Virtual Assets (AAS). **Computers**, v. 10, n. 12, p. 161, 2021.

VIANA, Fernando Luiz E. Indústria siderúrgica. 2019.

WANG, Hongwei; CHEN, Shuang; XIE, Yong. An RFID-based digital warehouse management system in the tobacco industry: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 9, p. 2513-2548, 2010.

WRIGHT, Caradee Y.; WERNECKE, Bianca. Using Microsoft® Power BI® to visualise Rustenburg Local Municipality's Air Quality Data. **Clean Air Journal**, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2020.

WU, Dazhong et al. A fog computing-based framework for process monitoring and prognosis in cyber-manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, p. 25-34, 2017.

WYNSTRA, Finn; SUURMOND, Robert; NULLMEIER, Fabian. Purchasing and supply management as a multidisciplinary research field: Unity in diversity?. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 25, n. 5, p. 100578, 2019.

XIONG, Guangyu; HELO, Petri. Challenges to the supply chain in the steel industry. **International Journal of Logistics Economics and Globalisation**, v. 1, n. 2, p. 160-175, 2008.

YIN, Robert K. et al. Design and methods. **Case study research**, v. 3, n. 9.2, 2003.

YIN, Robert K. The case study crisis: Some answers. **Administrative science quarterly**, v. 26, n. 1, p. 58-65, 1981.

YLI-OJANPERÄ, Matti et al. Adapting an agile manufacturing concept to the reference architecture model industry 4.0: A survey and case study. **Journal of industrial information integration**, v. 15, p. 147-160, 2019.

ZHANG, G. Q.; XUE, J.; LAI, K. K. A genetic algorithm based heuristic for adjacent paper-reel layout problem. **International Journal of Production Research**, v. 38, n. 14, p. 3343-3356, 2000.

ZHENG, P.; SANG, Z.; ZHONG, R. Y.; LIU, Y.; LIU, C.; MUBAROK, K.; XU, X. Smart manufacturing systems for industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 13, p. 137-150, 2018.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

A CSDI é uma evolução da cadeia de suprimentos tradicional, que utiliza tecnologias digitais e inteligência artificial para melhorar a eficiência, transparência, agilidade entre outros princípios da I4.0. A implementação de soluções digitais e inteligentes na cadeia de suprimentos permite uma melhor gestão da demanda e da oferta, bem como uma melhor colaboração entre os diferentes atores da cadeia. Além disso, a utilização de dados em tempo real e de análise de dados permite uma melhor tomada de decisão e a redução de riscos de abastecimento, por exemplo. A CSDI é um passo importante para tornar as cadeias de suprimentos mais eficientes e sustentáveis.

No primeiro artigo apresentado nesse estudo destaca-se como contribuição o aspecto metodológico e teórico viável para a adoção de tecnologias avançadas da indústria 4.0 na cadeia de suprimentos. Nesse sentido, o estudo contribuiu para pesquisas sobre a CSDI (SCUOTTO *et al.*, 2017; BÜYÜKÖZKAN e GÖÇER, 2018), além de aumentar o entendimento sobre as tecnologias da indústria 4.0 nas cadeias de suprimentos. A evidência empírica do estudo mostrou que o roteiro tecnológico oferece muitas oportunidades para as organizações apoiarem tecnologias avançadas na cadeia de suprimentos.

Já o segundo artigo dessa dissertação apresentou um roteiro tecnológico para a digitalização da cadeia de suprimentos, que incluiu as seguintes camadas: princípios da I4.0, arquitetura tecnológica e tecnologias, inerentes à era da I4.0. Este roteiro foi baseado e apoiado pelos resultados do estudo de caso realizado no departamento de suprimentos de uma empresa do segmento siderúrgico. A proposta de roteiro tecnológico fornece uma orientação do estado da arte para as empresas que almejam adotar tecnologias da I4.0 em suas cadeias de suprimentos, além de buscar reduzir algumas das barreiras à digitalização, tanto numa perspectiva tecnológica quanto estratégica. A integração e interconexão entre os diferentes projetos na formação da arquitetura tecnológica deverão ser baseados em estratégias que suportem as empresas na transição de tecnologias convencionais para um mundo digital, cuja base deve ser os princípios da I4.0.

A orientação do departamento de suprimentos no caso estudado foi considerada tanto no sentido *market pull*, ou seja, na adoção de tecnologias para atender demandas de mercado, quanto no sentido de *technology push*, que envolve a adoção de tecnologias que visam induzir determinadas formas de comportamento dos agentes de mercado. Isso porque o roteiro desenvolvido teve como input o planejamento estratégico do departamento de suprimentos da empresa, que é orientado para o mercado. O grupo de profissionais entrevistados entende que é

fundamental induzir a cadeia de suprimentos (fornecedores principalmente), a entregar valor com base digitalização dos processos para tornar a cadeia mais competitiva e responsiva.

Por fim, o terceiro artigo oferece três contribuições. A primeira contribuição é a adaptação da arquitetura de referência RAMI4.0 para o contexto do PSM, uma vez que foi originalmente concebida para o contexto da manufatura (GREFEN *et al.*, 2022; ÇINAR, ZEESHAN e KORHAN, 2021; MURUGAIYAN e RAMASAMY, 2021). Dessa forma, o estudo contribuiu para a literatura sobre aplicação da arquitetura RAMI4.0 no contexto do PSM. Ao que parece, os estudos são voltados para a manufatura (LINS e OLIVEIRA 2020; FRAILE *et al.*, 2019; RESMAN, *et al.*, 2019; SHARPE *et al.*, 2019; YLI-OJANPERA *et al.*, 2019; MOGHADDAM, *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2018).

A segunda contribuição refere-se à validação empírica da arquitetura de referência apresentada. Foi possível analisar o nível de abrangência dos projetos de PSM nas três dimensões: ciclo de vida, camadas e hierarquia. Além disso, o estudo permitiu identificar as tecnologias utilizadas em cada projeto, categorizá-las e ordená-las segundo a lógica da arquitetura RAMI4.0. Com efeito ele une dois pontos da literatura ainda não relacionados, quais sejam, aquele que trata dos processos do PSM (PEREIRA, 2020; SCHUTZ *et al.*, 2020 e VAN WEELE 2009), e os que tratam da arquitetura RAMI4.0 (ÇINAR, ZEESHAN e KORHAN, 2021).

Como terceira contribuição, analisando o *framework* apresentado, observou-se que as tecnologias da I4.0 mais utilizadas são mais aplicáveis ao contexto da categoria de materiais sobressalentes. Existem projetos específicos para os sobressalentes que não podem ser aplicados no contexto de matérias-primas, e o único projeto de matéria-prima está sendo estudado a sua aplicação no contexto dos sobressalentes. Isso se deve à complexidade e capilaridade da categoria de produtos “sobressalentes”. Os sobressalentes exigem um maior controle e rastreamento, além de gerar maior volume de informações. O resultado é que a aplicação da I4.0 no PSM depende do tipo de produto que está sendo gerido.

Além das contribuições apresentadas, o artigo também oferece implicações práticas. A arquitetura tridimensional proposta, fornece aos profissionais de PSM um roteiro robusto para avaliar a aderência de projetos estratégicos para a adoção da I4.0 na função PSM, possibilitando que tais profissionais tenham condições de escolher a estratégia mais adequada dependendo do contexto da empresa. Outro aspecto relevante é a visão instrumental que o modelo apresenta às empresas, atrelando a implementação de cada projeto aos benefícios gerados. Os resultados mostram que a conveniência de adotar tais estratégias de adoção da I4.0 na função PSM é

fortemente influenciada pela busca do aumento da produtividade, redução de custo, agilidade, rastreabilidade, orientação para serviço e inteligência.

De maneira geral, a I4.0 está transformando a forma como as empresas produzem, gerenciam e distribuem seus produtos e serviços. Com a integração de tecnologias avançadas, como RFID, internet das coisas (IoT), *blockchain* e análise de dados, entre outras, as cadeias de suprimentos avançam para o estágio de CSDI. A dissertação apresentada examinou o modelo de integração das tecnologias avançadas da indústria 4.0 no contexto da cadeia de suprimentos.

A pesquisa apresentada na dissertação incluiu a revisão cuidadosa de três artigos relevantes para o assunto central, qual seja, CSDI. Esses artigos forneceram uma visão abrangente do tema e complementaram a pesquisa, dando uma compreensão completa do modelo de integração das tecnologias da I4.0 na cadeia de suprimentos.

Em conclusão, a dissertação apresentou um esforço contínuo e sistemático na investigação da adoção das tecnologias da I4.0 no contexto da CSDI. Os três artigos foram cuidadosamente estudados para complementar a pesquisa e fornecer uma visão abrangente do tema central. De maneira geral, os artigos foram explorados por meio de estudo de caso em profundidade, contemplando reuniões de alinhamento de conceitos referente ao tema pesquisado, entrevistas individuais e coletivas com os respondentes, além de workshop para elaboração dos roteiros tecnológicos. Alguns documentos da empresa, a saber, “planejamento estratégico da diretoria de suprimentos 2023 e *roadmap* tecnológico”, foram consultados para coleta de dados.

O objetivo dessa metodologia foi investigar o fenômeno da transformação digital da cadeia de suprimentos a qual a empresa está inserida. A metodologia foi analisada a partir de múltiplas perspectivas e fontes de dados, sempre considerando o rigor metodológico de cada etapa do processo de coleta e análise dos dados, o que permitiu uma investigação aprofundada e detalhada de tal fenômeno em seu contexto real. O estudo de caso possibilitou uma compreensão mais completa e complexa do fenômeno da CSDI (YIN, 2015).

É evidente que a pesquisa sobre esse assunto é crucial para o desenvolvimento e melhoria das cadeias de suprimentos inteligentes e digitais, o que é vital para o sucesso econômico e competitivo em um mundo cada vez mais tecnológico.

No entanto, é importante destacar que esta metodologia apresenta limitações, como a dificuldade em generalizar os resultados obtidos para outros contextos (STAKE, 2007 e GERRING, 2007), já que a pesquisa se concentra em um único caso, e leva em consideração projetos específicos em fase de implementação na empresa. Portanto, foi fundamental que o

pesquisador realizasse uma reflexão crítica sobre a validade dos resultados obtidos e sobre as possíveis limitações do referido estudo de caso.

Outra limitação é que os dados coletados podem ser suscetíveis a vieses do pesquisador e dos respondentes selecionados, já que a pesquisa de estudo envolveu em alguns casos a interpretação subjetiva das próximas ações a serem implementadas e priorizadas no caso dos roteiros tecnológicos. Portanto, é importante que os pesquisadores considerem cuidadosamente as limitações da pesquisa de estudo de caso ao planejar e conduzir suas investigações.

A digitalização das cadeias de suprimentos é um tema em constante evolução, e há muitas oportunidades para pesquisas futuras neste campo. Algumas sugestões incluem: avaliar como a digitalização está afetando o desempenho das cadeias de suprimentos, como a velocidade de entrega, qualidade do produto e custos operacionais (MONCKZA *et al.*, 2015); explorar implantação de plataformas digitais de colaboração como *marketplace* e portal de fornecedores, para melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos (BOECK, WUTTKE, e BLOME, 2020; BERGLUND e MAGNUSSON, 2016).

Em relação ao objeto de estudo “CSDI”, pesquisas futuras deverão avaliar novos projetos, arquiteturas e grupo de tecnologias aplicados ao contexto das cadeias de suprimentos para fornecer aos profissionais da área um roteiro ainda mais robusto, a fim de selecionar as estratégias mais apropriadas para a adoção da I4.0 nas cadeias de suprimentos.

REFERÊNCIAS ADICIONAIS

BERGLUND, M.; MAGNUSSON, M. **From a supply chain to a demand chain– Interacting roles of actors in collaborative consumer goods supply chains.** *Industrial Marketing Management*, v. 52, p. 167-180, 2016.

BOECK, H.; WUTTKE, D. A.; BLOME, C. **From Digitalization to Industry 4.0: A Bibliometric Analysis of the Supply Chain Management Literature.** *Journal of Supply Chain Management*, v. 56, n. 3, p. 3-26, 2020.

MONCZKA, R. M.; TRENT, R. J.; CALLAHAN, T. J. **Supply base management: The next decade.** *Journal of Purchasing and Supply Management*, v. 21, n. 1, p. 3-8, 2015.