

**UNIVERSIDADE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA**

**UM MODELO EXPLICATIVO DO ALINHAMENTO  
ESTRATÉGICO NA INDÚSTRIA 4.0**

**SÃO PAULO  
2024**

**UNIVERSIDADE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UM MODELO EXPLICATIVO DO ALINHAMENTO  
ESTRATÉGICO NA INDÚSTRIA 4.0**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para atender ao processo de obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

**Orientador:** Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves

**Área de concentração:** Gestão de Sistemas e Operação

**Linha de Pesquisa:** L1 - Redes de Empresa e Planejamento de Produção

**Projeto de Pesquisa:** Transformação Digital

**GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA**

**SÃO PAULO**

**2024**

# FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Gilberto Francisco de.

Um modelo explicativo do alinhamento estratégico na  
indústria 4.0 / Gilberto Francisco de Oliveira. – 2024.

199 f. : il. + CD-ROM.

Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Engenharia de Produção da Universidade  
Paulista, São Paulo, 2024.

Área de concentração: Gestão de Sistemas de Operação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves.

1. Indústria 4.0. 2. Alinhamento estratégico. 3. Manufatura.  
4. Transformação digital. 5. *Smart manufacturing*. I. Gonçalves,  
Rodrigo Franco (orientador). II. Título.

**GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA**

**UM MODELO EXPLICATIVO DO ALINHAMENTO  
ESTRATÉGICO NA INDÚSTRIA 4.0**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para atender ao processo de obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção.

Aprovado em: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves – Orientador  
Universidade Paulista (UNIP)

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Profª. Dra. Ana Lúcia Figueiredo Facin  
Universidade Paulista (UNIP)

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Giancarlo Medeiros Pereira  
Universidade Paulista (UNIP)

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Profª. Dra. Cláudia Aparecida de Mattos  
Fundação Educacional Inaciana Padre Saboia de Medeiros (FEI)

\_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Prof. Dr. Fernando José Barbin Laurindo  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

## **DEDICATÓRIA**

*In memorian* aos meus saudosos pais,

João Francisco de Oliveira e Odete Barbosa de Oliveira, cujo amor e inspiração continuam a guiar-me em minha jornada acadêmica e pessoal.

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso aqui meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta tese. Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Rodrigo Franco Gonçalves, pelo suporte constante, apoio incansável e valiosas sugestões ao longo deste processo. Também sou imensamente grato ao coordenador do programa, Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto, por sua liderança, sabedoria e conhecimento compartilhado ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Às Professoras Dra. Irenilza de Alencar Nääs e Dra. Ana Lúcia Figueiredo Facin expresso minha gratidão pela orientação acadêmica e valiosos insights que enriqueceram os artigos produzidos.

Um agradecimento especial também à secretaria do curso, Sra. Márcia Nunes, pela sua ajuda e suporte administrativo, por suas sugestões que mais eram conselhos e sempre foram muito pertinentes, apropriados, amáveis, corteses. Não posso deixar de agradecer aos alunos e colegas do curso PPGEP por suas contribuições, discussões enriquecedoras e momentos descontraídos que compartilhamos.

Ao Prosup/Capes agradeço pelo suporte financeiro concedido via bolsa de doutorado.

Agradeço ainda do fundo do coração à minha esposa Flavia Gerjoi Bezerra e ao meu filho João Pedro Bezerra de Oliveira por seu amor, apoio inabalável e compreensão durante este período desafiador. Por mais que a jornada não fosse fácil, sempre tive conforto e suporte no recanto do lar.

## **EPÍGRAFE**

"O conhecimento tem que ser aprimorado, desafiado e aumentado constantemente ou desaparecerá rapidamente."

(Peter Drucker)

## **RESUMO**

As vantagens das novas tecnologias embarcadas da Indústria 4.0 para as empresas de manufatura são bem conhecidas. Algumas delas seriam agilidade, flexibilidade tanto de volume quanto de roteirização de produção, redução de custo total de propriedade, customização e personalização de produtos, serviços agregados ao produto, redução de custos de manutenção, uso eficiente de energia, menor *time-to-market* e frequência maior de lançamentos de novos produtos. Consumidores mais exigentes por maior qualidade e menor prazo de entrega, sem pagar mais por isso, também procuram comprar de empresas que estejam adaptadas e engajadas à nova era da transformação digital. Se por um lado, entretanto, há ganho de eficiência operacional e redução de custos de produção com investimentos em tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, a condicionante é que as iniciativas de projetos estejam alinhadas com as decisões estratégicas corporativas. Caso contrário, aumenta-se o risco de não agregação de valor. O alinhamento estratégico é tema de várias pesquisas que propõem modelos a serem seguidos e o modelo de Henderson e Venkatraman é uma referência ao propor as integrações funcionais e as integrações estruturais de TI e de negócios. Porém o modelo seminal não considera as novas tecnologias da Indústria 4.0, o que identifica um espaço explorado por esta pesquisa. O objetivo de pesquisa é, portanto, desenvolver, apresentar e avaliar um modelo explicativo de alinhamento estratégico e Indústria 4.0. Isto tipificaria empresas de manufatura por perspectivas, o que permitiria recomendar como a Indústria 4.0 pode agregar valor à empresa, conforme seu posicionamento estratégico. Categorizado em quatro perspectivas: Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital. O modelo desenvolvido não é escalar e concede à organização a possibilidade de identificar quais impactos em sistemas, estruturas e processos precisam ocorrer para atingir um determinado nível de aplicação das iniciativas emergentes da Indústria 4.0. Do objetivo de pesquisa desdobraram-se três outros objetivos específicos, contemplados por três artigos, dois submetidos a periódicos; o terceiro publicado em congresso. A metodologia de pesquisa foi distinta para cada artigo. No artigo 1, foi realizada uma revisão sistemática da literatura; no artigo 2, encontra-se um estudo de caso; e no artigo 3, o método Delphi foi aplicado.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Alinhamento Estratégico; Manufatura; Transformação Digital; Modelo de Alinhamento Estratégico

## **ABSTRACT**

The advantages of new Industry 4.0 embedded technologies for production companies are well known. These include agility, flexibility in both volume and production routing, reduction in total cost of ownership, customization and personalization of products, services added to the product, reduced maintenance costs, efficient use of energy, shorter time-to-market, and greater frequency of new product launches. Consumers, who are increasingly demanding in terms of quality and delivery times without wanting to pay extra, also seek to buy from companies that are engaged with the new era of digital transformation. However, while investments in Industry 4.0 technologies can lead to gains in operational efficiency and reductions in production costs, these initiatives must be aligned with corporate strategic decisions to avoid the risk of non-value addition. Strategic alignment is the focus of numerous studies proposing various models, with the Henderson and Venkatraman model being a notable reference for integrating IT and business functions as well as structural integrations. Nevertheless, the seminal model does not account for the new technologies of Industry 4.0, which defines the scope for this research. Therefore, the research objective is to develop, present, and evaluate an explanatory model of strategic alignment and Industry 4.0, categorizing production companies according to alignment perspectives. This will enable identification of how Industry 4.0 can add value to a company based on its strategic positioning. The perspectives are categorized into four dimensions: Digital Transition, Digital Transformation, Digital Potential, and Digital Process Support. The developed model is not scalable and allows the organization to identify the necessary impacts on systems, structure, and processes to achieve a certain level of application of emerging Industry 4.0 initiatives. The research objective comprised three specific objectives, covered by three articles: two submitted to journals and one published at a conference. The research methodology varied for each article. In Article 1, a systematic literature review was conducted; in Article 2 was developed a case study; and in Article 3, the Delphi method was applied.

**Keywords:** Industry 4.0; Strategic Alignment; Manufacturing; Digital Transformation; Alignment Strategic Model

## **UTILIDADE**

Esta tese está alinhada com dois dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU). Os 17 ODS foram concebidos em colaboração com países parceiros, conforme delineado na Agenda 2030, para abordar os principais desafios de desenvolvimento enfrentados pela sociedade (Schneider *et al.*, 2019).

Os objetivos relacionados a este projeto de pesquisa são 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura).

### **ODS 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico:**

O modelo de alinhamento estratégico com as tecnologias da Indústria 4.0 proposto nesta tese contribui para o crescimento econômico ao apoiar o gestor na busca de competitividade e na identificação de alinhamento com maior potencial de geração de valor. A abordagem colaborativa do Artigo 3 desta tese, que envolve acadêmicos e profissionais na avaliação dos componentes do modelo explicativo, demonstra uma atenção com a geração de conhecimento relevante para o setor industrial, viabilizando o crescimento econômico da indústria com utilização de tecnologias habilitadoras. Essas tecnologias impulsionam a demanda por formação especializada e desenvolvimento profissional, resultando um mercado de trabalho mais qualificado.

### **ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura:**

O objetivo geral da tese é desenvolver um modelo explicativo que estabeleça a relação entre as tecnologias habilitadoras da I4.0 e o alinhamento estratégico das organizações de manufatura, contribuindo para a promoção da inovação industrial.

O Artigo 3 destaca o desenvolvimento deste modelo explicativo e, embora não especifique quais tecnologias devam ser aplicadas na indústria, descreve como as tecnologias podem ser utilizadas para gerar oportunidades inovadoras e criar vantagem competitiva.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Delimitação de Pesquisa .....	23
Figura 2 - Distribuição de Artigos Pesquisada na Base WOS.....	25
Figura 3 - Planejamento de Pesquisa.....	26
Figura 4 - Modelo de Posicionamento do Sistema de Informação (1984) .....	44
Figura 5 - Modelo de Alinhamento Estratégico Henderson e Venkatraman (1993) .....	45
Figura 6 - Modelo de Alinhamento Estratégico com possibilidades de Perspectivas .....	47
Figura 7 - Modelo de Alinhamento Estratégico de Teo e King (1997).....	50
Figura 8 - Modelo de Maturidade de Luftman (2000).....	51
Figura 9 - Modelo de Alinhamento de Brodbeck e Hoppen (2003).....	52
Figura 10 - Modelo de Alinhamento de Kearns e Sabherwal (2006).....	53
Figura 11 - Modelo de Alinhamento de Joia e Souza (2009).....	54
Figura 12 - Modelo de Alinhamento de Schlosser <i>et al.</i> (2015) .....	55
Figura 13 - Modelo de Alinhamento com inovação aberta .....	56
Figura 14 - Modelo de Alinhamento em Organizações em multinegócios .....	57
Figura 15 - Modelo Conceitual de ondas de pensamentos sobre .....	68
Figura 16 - Modelo Conceitual de Alinhamento Estratégico e I4.0 .....	77
Figura 17 - Distribuição de Questões por Foco do Alinhamento Estratégico e I4.0 .....	86
Figura 18 – Modelo Explicativo de Alinhamento Estratégico e I4.0 .....	90
Figura 19 – Modelo Explicativo de Alinhamento Estratégico e I4.0 .....	108

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Lista de Tecnologias Habilitadoras da I4.0 .....	32
Quadro 2 – Classificação das tecnologias habilitadoras da I4.0.....	36
Quadro 3 - Modelo de Alinhamento Estratégico de Reich e Benbasat (1996).....	49
Quadro 4 - Resumo dos Modelos de Alinhamentos .....	57
Quadro 5 - Objetivos Específicos x Artigos produzidos .....	62
Quadro 6 - Síntese do Artigo 1 .....	65
Quadro 7 - Relação de Revistas e Quantidade de Artigos por Ano .....	67
Quadro 8 - Resumo Teórico do Modelo Conceitual de Frentes de Pensamento em Alinhamento Estratégico e I4.0 e I5.0 .....	69
Quadro 9 - Síntese do Artigo 2.....	71
Quadro 10 - Assertivas sobre a Aderência da Perspectiva Transformação Tecnológica .....	72
Quadro 11 - Tipificação das Empresas Respondentes .....	73
Quadro 12 - Soma de Pontos das 11 Empresas Pesquisadas.....	74
Quadro 13 - Síntese do Artigo 3.....	76
Quadro 14 - Resumo Teórico Modelo Conceitual de Alinhamento.....	81
Quadro 15 - Protocolo de pesquisa.....	85
Quadro 16 – Assertivas atualizadas após a duas rodadas do método Delphi.....	88
Quadro 17 - Quadro Alinhamento Estratégico e I4.0 .....	104

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
APMS	<i>Advances in Production Management Systems</i>
CEP	Comissão de Ética e de Pesquisa
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
I4.0	Indústria 4.0
IIoT	<i>Internet Industrial of Things</i>
IOS	<i>Internet of Services</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
LGI	<i>Lean and Green Index</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis
PE	Plano Estratégico
PEN	Plano Estratégico de Negócio
PETI	Plano Estratégico de Tecnologia da Informação
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SEM	<i>Structural Equation Modeling</i>
SI	Sistema de Informação
SLR	<i>Systematic Literature Review</i>
TI	Tecnologia da Informação
WoS	<i>Web of Science</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	16
<b>1.1</b>	<b>Introdução .....</b>	16
1.1.1	Indústria 4.0.....	17
1.1.2	Alinhamento Estratégico .....	19
<b>1.2</b>	<b>Problematização .....</b>	20
<b>1.3</b>	<b>Escopo e delimitação do trabalho .....</b>	23
<b>1.4</b>	<b>Questão de Pesquisa.....</b>	23
<b>1.5</b>	<b>Objetivos Geral e Específicos.....</b>	23
1.5.1	Objetivo Geral .....	23
1.5.2	Objetivos Específicos .....	24
<b>1.6</b>	<b>Justificativa.....</b>	24
<b>1.7</b>	<b>Metodologia Resumida .....</b>	26
<b>1.8</b>	<b>Organização do texto da tese .....</b>	28
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	30
<b>2.1.</b>	<b>Indústria 4.0 .....</b>	30
2.1.1.	Indústria 5.0 .....	41
<b>2.2.</b>	<b>Alinhamento estratégico .....</b>	42
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	61
<b>3.1.</b>	<b>Revisão sistemática da literatura.....</b>	62
<b>3.2.</b>	<b>Estudo de Caso .....</b>	63
<b>3.3.</b>	<b>Delphi .....</b>	63
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	65
<b>4.1.</b>	<b>Artigo 1 .....</b>	65
4.1.1.	Contextualização.....	66
4.1.2.	Metodologia .....	66
4.1.3.	Resultados e Discussões .....	68
4.1.4.	Considerações finais .....	69
<b>4.2.</b>	<b>Artigo 2 .....</b>	71
4.2.1.	Contextualização .....	72
4.2.2.	Metodologia.....	72
4.2.3.	Resultados e Discussões .....	74
4.2.4.	Considerações Finais.....	74
<b>4.3.</b>	<b>Artigo 3 .....</b>	76

4.3.1	Contextualização .....	77
4.3.2	Metodologia.....	82
4.3.3	Resultados .....	86
4.3.4	Considerações finais.....	92
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>93</b>
<b>5.1</b>	<b>Objetivo Geral, Objetivos Específicos I, II e III e Questão de Pesquisa .....</b>	<b>93</b>
<b>5.2</b>	<b>Modelo Explicativo e a Fundamentação Teórica .....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE A – ARTIGO 1 .....</b>	<b>123</b>
	<b>APÊNDICE B – ARTIGO 2 .....</b>	<b>148</b>
	<b>APÊNDICE C – ARTIGO 3 .....</b>	<b>156</b>
	<b>APÊNDICE D – RELATO TÉCNICO DE PROGRAMA DE SOFTWARE.....</b>	<b>180</b>
	<b>APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO EM <i>SHORT PAPER</i>.....</b>	<b>191</b>
	<b>ANEXO A – PARECER DE COMISSÃO DE ÉTICA E PESQUISA .....</b>	<b>197</b>

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para que o leitor possa explorar o desenvolvimento deste projeto e do fenômeno estudado, inicialmente se apresenta uma contextualização da tese. Complementam isto a pergunta de pesquisa, os seus objetivos (geral e específicos), a metodologia aplicada e, por fim, a forma de como este documento está estruturado.

### 1.1 Introdução

Para melhor compreender as mudanças promovidas pelas Revoluções Industriais e situar a Indústria 4.0 (I4.0) na evolução, pode-se dividi-las em dois grandes grupos: (1) revoluções baseadas em tecnologia (Revolução Industrial I e III) e (2) revoluções baseadas em processos produtivos (Revolução Industrial II e IV) (Singh, Mahanty e Tiwari, 2019).

Na I Revolução Industrial, o uso de máquinas movidas a vapor, aplicação do aço de forma intensiva e a automação têxtil permitiram a criação de processos de manufatura em substituição a processos artesanais, viabilizando com isso a produção em volume (Chiarini, Belvedere e Grando, 2020; Cordeiro, Ordóñez e Ferro, 2019). Na III Revolução Industrial, impulsionada pelas tecnologias de informação e comunicação, a implementação de Controles Lógicos Programáveis auxiliou na automação da produção, permitindo não apenas a produção em escala, mas também a maior previsibilidade dos resultados das operações (Demeter e Losonci, 2020) e o controle do processo de manufatura (Lee *et al.*, 2019).

Na II Revolução Industrial, a produção em massa, a linha de montagem, a divisão do trabalho e a especialização geraram ganhos de custos e de tempos de produção, impulsionados pela mecanização e pela eletricidade (Ghobakhloo, 2018; Villalba-Diez *et al.*, 2019). A IV Revolução Industrial estabelece uma nova onda de inovações disruptivas com impacto no sistema socioeconômico (Ślusarczyk, 2018). Embora os termos "Indústria 4.0" e "IV Revolução Industrial" sejam frequentemente usados como sinônimos (Lee *et al.*, 2019; Machado *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2021), são conceitos distintos, a IV Revolução Industrial confere à I4.0 um meio crítico para enfrentar os desafios contemporâneos em manufatura como alta competição, aumento da demanda por produtos customizados, produtos de ciclos menores e prazo de entrega mais curtos (Santos *et al.*, 2021).

### 1.1.1 Indústria 4.0

Em linha com a contextualização da IV Revolução Industrial, a I4.0 é um guarda-chuva composto por várias tecnologias emergentes e práticas em uma fábrica (Culot *et al.*, 2020). As máquinas são equipadas com sensores que viabilizam a conectividade sem fio e estão conectadas a um sistema adaptativo que toma decisões de forma autônoma a partir da análise e da visualização total da linha de produção (Jaskó *et al.*, 2020). Para Alao e Gbolagade (2019), a I4.0 é caracterizada por sistemas altamente inteligentes. A conectividade cria uma cadeia de valor totalmente digital (Nosalska *et al.*, 2019). Os novos recursos das máquinas inteligentes e conectadas estão remodelando as operações das próprias fábricas. As máquinas podem ser cada vez mais conjugadas em sistemas (Porter, 2008; Porter e Heppelmann, 2015). Soluções de ponta a ponta na cadeia de valor passaram a ser mais frequentes (Zheng *et al.*, 2021), proporcionadas pela adoção de tecnologias de transformação digital, gerando aumento da produtividade, maior flexibilidade, maior autonomia dos processos, viabilização da integração vertical e horizontal (Nosalska *et al.*, 2019) e sistemas modulares e flexíveis de produção (Zheng *et al.*, 2021).

Os benefícios da I4.0 são percebidos em termos de qualidade aprimorada, tempo de resposta reduzido e otimização de recursos (Soomro *et al.*, 2021), integrando o mundo físico e virtual (Cordeiro, Ordóñez e Ferro, 2019). A mesma I4.0 introduziu o conceito de *smart factory*, caracterizado pela descentralização, suporte em tempo real, modularidade, virtualização e orientação a serviços (Zheng *et al.*, 2021). Isso denota uma forte integração de objetos físicos e instalações de produção em redes de informação virtual (Santos *et al.*, 2021), com uma visão essencialmente embasada em Tecnologia da Informação (TI) (Borges *et al.*, 2021; Li, Dai e Cui, 2020; Nosalska *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2020).

Rogers (2016) argumenta que a transformação digital não é apenas uma atualização da tecnologia empregada pelas organizações como sugere o nome, mas um novo patamar de pensamento estratégico que, portanto, amplia o papel da TI, o que condiz com o arcabouço que tecnologias emergentes da I4.0 representam.

A I4.0 caracteriza-se, assim, como resultado da conjunção de ferramentas tecnológicas viabilizadoras implementadas em processos organizacionais. Segundo Cordeiro, Ordóñez e Ferro (2019), as ferramentas são agrupadas em três grandes grupos: (1) *Smart Manufacturing* – com foco em automação e sistemas *cyber physical* (Ghobakhloo, 2018); (2) Modelagem e

Simulação – com interação entre realidade e virtual (Hernandez-de-Menendez *et al.*, 2020) e, (3) Digitalização e Virtualização – grupo no qual o eixo é o tratamento e a manipulação de dados (Tyas e Hutama, 2021). Um dos pontos em comum aos três grupos é a relevância de dados e de informações para perfazer objetivos operacionais (Firmino *et al.*, 2020), o que reforça a correlação da I4.0 com a TI.

Em consonância com o entendimento de forte correlação entre TI e I4.0, Kumar et al (2020) destacam as características das tecnologias habilitadoras da I4.0: autogerenciamento, auto adaptação e auto otimização.

**Autogerenciamento:** As unidades de produção operam de forma independente, gerenciando seus próprios processos com mínima ou nenhuma intervenção humana (Oluisola, Sgarbossa e Standhagen, 2020). Isso inclui a tomada de decisões sobre alocação de recursos, agendamento de tarefas e manutenção das operações. Essas decisões são baseadas em análises de dados em tempo real e em regras predefinidas, permitindo uma operação contínua e eficiente (Gajdzik e Wolniak, 2021)

**Auto adaptação:** As unidades de produção têm a capacidade de responder de forma dinâmica às mudanças no ambiente ou no processo de produção. Isso inclui a adaptação a flutuações na demanda, interrupções na cadeia de suprimentos ou falhas de equipamentos. As unidades ajustam suas operações em tempo real, utilizando sensores, dados históricos e algoritmos preditivos para minimizar impactos negativos e garantir a continuidade e eficiência dos processos (Chauhan, Singh e Luthra, 2021).

**Auto otimização:** As unidades de produção são projetadas para melhorar continuamente seu desempenho. Elas fazem isso ao analisar grandes volumes de dados, identificar ineficiências e implementar ajustes automáticos para otimizar a produtividade, a qualidade do produto e o uso de recursos. Esse processo de otimização contínua é impulsionado por tecnologias como aprendizado de máquina e inteligência artificial, que permitem às unidades de produção aprenderem e evoluírem com o tempo (Gillani et al, 2020).

Na visão de Cordeiro, Ordóñez e Ferro (2019), as novas tecnologias são reduzidas a responderem a desvios de processos produtivos. E mais: elas não consideram como integrantes das tecnologias habilitadoras da I4.0 soluções preventivas e preditivas, como a modelagem e a simulação.

### 1.1.2 Alinhamento Estratégico

O alinhamento estratégico entre negócio e tecnologia da informação é visto como importante para apoiar a busca da vantagem competitiva organizacional (Chan *et al.*, 1997; Sabherwal e Chan, 2001). A concorrência entre as empresas depende cada vez mais das suas capacidades de aproveitar as tecnologias digitais para concretizar a sua visão (Vial, 2019). Alinhamento estratégico significa a sincronização entre a estratégia de negócio e as escolhas realizadas em soluções de tecnologia da informação, com governança, para atingir benefícios máximos de TI (Mitropoulos, 2021)

A evolução da rentabilidade como medida da eficiência do alinhamento estratégico tem base consolidada para identificar os benefícios máximos (Kaplan e Norton, 2005; Porter, 2008; Rumelt e Richard, 2011; Solow, 1987). Há, porém, autores que divergem desta linha de pensamento, defendendo que há outras dimensões que devem ser consideradas. Algumas delas seriam Medidas de satisfação do cliente, qualidade do serviço e inovação (Kappelman *et al.*, 2013); Medidas de qualidade do serviço, satisfação do usuário e flexibilidade da TI para adaptação às mudanças nas necessidades de negócios (Lacity e Willcocks, 1998); Medidas de inovação, agilidade e capacidade de colaboração da organização (Sabherwal e Chan, 2001).

Luftman e Brier (1999) afirmam que a satisfação do cliente é uma medida importante para avaliar o alinhamento estratégico de negócio e TI, uma vez que TI pode afetar diretamente a experiência do cliente. Weill e Ross (2004) sugerem que o alinhamento estratégico pode ser medido através do desempenho de TI em quatro áreas: entrega de serviços, estratégia, infraestrutura e capacidades organizacionais. Eles enfatizam que essas áreas são interdependentes e devem ser alinhadas com a estratégia de negócios para alcançar o sucesso. Grembergen (2004, cap. 1) argumenta que o sucesso do alinhamento estratégico pode ser medido através da qualidade da comunicação, da colaboração e do compartilhamento de conhecimento.

A diversidade de dimensões para avaliação da eficácia do alinhamento reflete na classificação dos tipos de alinhamentos estratégicos. Conforme Karpovsky & Galliers (2015), alinhamento estratégico vem sendo tratado em quatro principais classes: (1) tradução, nesse caso como os objetivos estratégicos do negócio podem ser entendido pela TI; (2) integração, com foco em garantir que estratégias corporativas tenham respaldos em TI; (3) adaptação, frente

a uma mudança do ambiente externo; por último, (4) experiência, com o viés de estabelecer uma prática que possa ser considerada uma negociação entre Estratégia organizacional e TI.

O modelo clássico de Henderson e Venkatraman (1993), apresentado na Figura 6 (pag. 46), é reconhecido na abordagem do alinhamento (Ullah e Lai, 2013), mas outros estudos também podem ser considerados (Kearns e Sabherwal, 2006; Luftman, 2000; Reich e Benbasat, 1996; Schlosser *et al.*, 2015; Teo e King, 1997). O modelo de Henderson e Venkatraman (1993) desenvolve quatro perspectivas de alinhamento dominante que a organização deve definir. As duas primeiras têm a estratégia de negócio como força motriz. Na perspectiva 1: execução da estratégia, a estratégia de negócio articula-se, é a impulsionadora das escolhas do *design* organizacional e do *design* da infraestrutura de tecnologia da informação. Na perspectiva 2: transformação da tecnologia, a avaliação da implementação da estratégia de negócios se faz com base na estratégia da tecnologia da informação e na articulação entre infraestrutura e processo de sistema de informação.

As outras duas perspectivas exploram como a tecnologia da informação pode permitir novas estratégias de negócios ou novas estratégias aprimoradas com implicações organizacionais. Na perspectiva 3: potencial competitivo, as organizações neste quadrante estão com foco na exploração de capacidades emergentes de tecnologia da informação para impactar novos produtos e serviços. Na perspectiva 4: nível de serviço, a empresa concentra-se em como construir uma organização através da análise sistemática das necessidades do cliente e dos produtos e serviços que existem, com aqueles em desenvolvimento (Henderson e Venkatraman, 1993).

## **1.2 Problematização**

A globalização estimulou a livre concorrência, ao derrubar barreiras entre mercados, acirrando a disputa entre empresas, destacando aquelas com proposta de entrega de valor (Porter, 2008). Uma das consequências perceptíveis da atitude foi moldar as organizações, segundo as necessidades de consumidores, com entrega ágil e de alta agregação de serviços antes, durante e após a venda (Kumar e Bhatia, 2021). A customização em massa, a estratégia de entrega e o posicionamento da manufatura na matriz volume-variedade são algumas das

decisões tomadas em manufatura e impactadas pela transformação digital (Hoa, Anh e Phong, 2021; Mourtzis *et al.*, 2018; Silveira, Da Borenstein e Fogliatto, 2001).

A empresa “tradicional” está enfrentando novos desafios de negócios que, até então, eram paradigmas com a I4.0 (Zheng *et al.*, 2021). Tais como custos baixos em manufatura são conseguidos com economia de escala, ou de escopo (Salam, 2019). A I4.0 potencializa patamares de competitividade superiores (Tyas e Hutama, 2021), ao contribuir com níveis de qualidade de forma perene ao menor custo total de propriedade, aliando à produção singularizada em massa, flexibilidade produtiva e uso mais eficiente de recursos (Hernandez-de-Menendez *et al.*, 2020). As tecnologias emergentes da I4.0 estão habilitando, portanto, as empresas para níveis de personalização e de servitização, sem que deixem de ser viáveis economicamente (Chiarini, Belvedere e Grando, 2020).

Algumas características tornam-se referências nesse contexto de tecnologias emergentes, como a rápida transição entre processos, a acessibilidade a reprogramações de prioridade, de volume (inclusive de lotes unitários) e de atributos, o desenvolvimento ágil de novos produtos e a reorganização fabril. Além disso, os processos são monitorados em tempo real para uma tomada de decisão aprimorada, e há uma abordagem centrada no cliente (Buchi, Cugno e Castagnoli, 2020; Fakhri *et al.*, 2021; Parhi, Joshi e Akarte, 2021).

De acordo com pesquisa realizada pelo MIT Sloan, as empresas com sucesso na transformação digital, implementando conceitos da I4.0, apresentaram um aumento de 26% em margens (Mohamad *et al.*, 2021). Em outra pesquisa, 82% das organizações que aplicaram tecnologias emergentes da I4.0 afirmam ter atingido um aumento na eficiência em seus processos de produção. 45% dos entrevistados relataram aumento da satisfação do cliente (Orellana e Torres, 2019). Com a rápida difusão da I4.0, nem sempre de maneira bem-sucedida, a academia e as empresas aumentaram sua atenção para entender quais são as bases de sua implementação e como desenvolver sistemas de produção com uso de tecnologias digitais em fabricação (Gillani *et al.*, 2020).

De toda forma, mesmo com a economia no custo de produção, com a redução da força de trabalho, com a queda da manutenção de máquinas e com o consumo menor de energia (Orellana e Torres, 2019), há barreiras que impedem o sucesso da implantação das novas tecnologias habilitadoras da I4.0. De quinze barreiras relacionadas, a falha na estratégia se deu com o maior valor (Raj *et al.*, 2020). Leong *et al.* (2020) e Singh, Mahanty e Tiwari (2019) mostram a inadequada compreensão de como a I4.0 poderá agregar valor à empresa, indicando

a falta de aderência ao direcionamento estratégico. Cordeiro, Ordóñez e Ferro (2019) apontam que há uma lacuna de pesquisa sobre propostas e metodologia de implantação da I4.0, por não ser considerado o aspecto da estratégia, por se hesitar em escolher a estrutura que tem maior valor agregado adicionado para a empresa. A busca do posicionamento da estratégia de negócio e a aplicação de tecnologias habilitadoras da I4.0 em suporte à estratégia são chamadas de alinhamento estratégico (Mitropoulos, 2021).

Infere-se desta forma que a simples adoção das novas tecnologias não é garantia de construção de vantagem competitiva, pois, sem o alinhamento com a estratégia organizacional, a adoção tende a não resultar em diferencial. Ela fica restrita apenas a um “gerador de custo” (Agostini e Filippini, 2019). Convém destacar que, mesmo com o sucesso no projeto de direcionar esforços de investimento com inovações para sustentar a estratégia, o alinhamento estratégico não é estático. Ele é sim um processo que envolve uma série de atividades que resultam em algumas dimensões, a tecnológica, a estrutural e a temporal (Karpovsky e Galliers, 2015), o que confirma a importância de se abordar o tema alinhamento como uma visão evolutiva técnico-organizacional (Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020). Sendo assim, a transformação digital fabril de aspecto tecnológico e organizacional permeia a estratégia da manufatura na qual recai a consideração de decisões em organização, processos, pessoas e infraestrutura para responder às necessidades de negócios (Hoa, Anh e Phong, 2021; Salam, 2019).

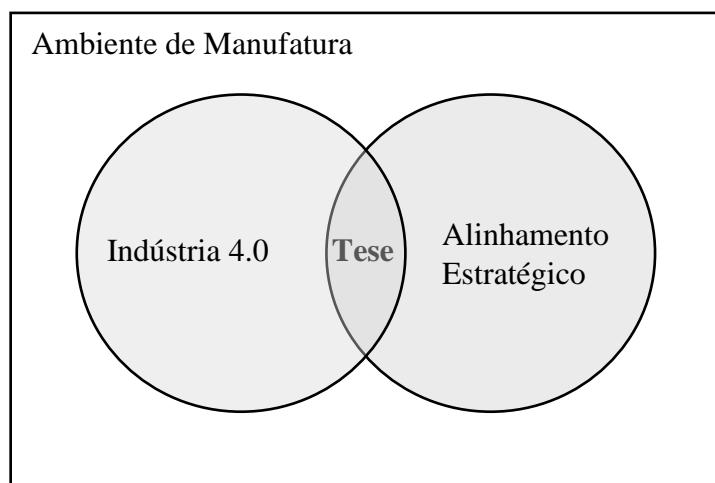
Denota-se desta forma que as tecnologias habilitadoras da I4.0 têm natureza complexa, fato que a torna um tema de interesse (Kumar e Bhatia, 2021). A implementação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0 carrega dúvidas comuns devido a incertezas, a falta de detalhes de implementação e a investimentos aparentemente grandes exigidos (Zant, El *et al.*, 2021). Em muitos casos com retornos de investimento superior a 5 anos (Liebrecht *et al.*, 2021).

A falta de alinhamento estratégico é um tema com bases consolidadas na literatura. Dois artigos seminais (Henderson e Venkatraman, 1993; Solow, 1987) respaldam as consequências da ausência do ajustamento à estratégia, ao tratar do paradoxo da produtividade, ao comparar a correlação entre gastos com TI e produtividade, muito antes, portanto, do surgimento da I4.0. Embora as tecnologias sejam essenciais para atingir eficiência operacional, isso não é sinônimo de captura de valor se não estiver sustentada por uma estratégia de negócio (Porter, 2008).

### 1.3 Escopo e delimitação do trabalho

Foi evidenciada, a partir da problematização, uma lacuna importante de estudo a ser explorada para ampliar a compreensão sobre I4.0 e alinhamento estratégico em ambiente de manufatura, tema deste projeto de pesquisa que está delimitada graficamente na Figura 1.

Figura 1 - Delimitação de Pesquisa



Fonte: O Autor

### 1.4 Questão de Pesquisa

A questão de pesquisa proposta foi assim formulada: como um modelo explicativo poderá relacionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 e a estratégia de empresas de manufatura?

### 1.5 Objetivos Geral e Específicos

#### 1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é desenvolver um modelo explicativo, baseado no modelo de Henderson e Venkatraman, que relaciona as tecnologias habilitadoras da I4.0 ao alinhamento estratégico das organizações de manufatura.

O mesmo objetivo geral na sua vez se desdobrou em três objetivos específicos que seguem.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

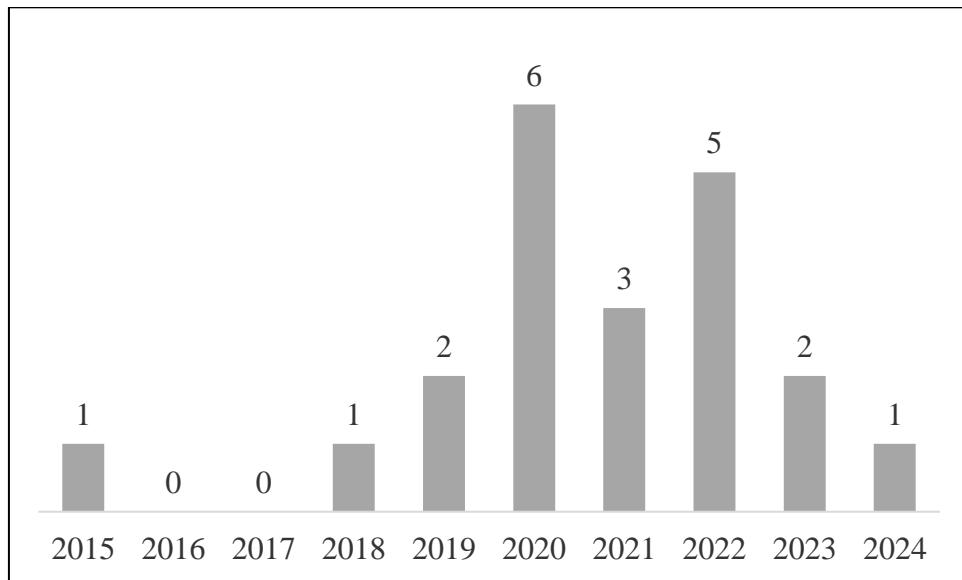
- I. Analisar as implicações do alinhamento estratégico na implementação de tecnologias I4.0 e avaliar criticamente os conceitos e limitações da I5.0 na obtenção de um alinhamento estratégico eficaz.
- II. Verificar a aplicação da transformação tecnológica do modelo de alinhamento estratégico entre TI e negócios desenvolvido por Henderson e Venkatraman por companhias que adotam tecnologias habilitadoras da I4.0.
- III. Apresentar um modelo que suporte a tipificação do alinhamento estratégico, considerando as tecnologias emergentes da I4.0.

## 1.6 Justificativa

Em consulta realizada em 1º de junho de 2024 à base *Web of Science* (WOS), base reconhecida pela qualidade e confiabilidade em repositórios de artigos, foi utilizada a *string*: “Strategic Alignment” AND “Industry 4.0” em todos os campos de pesquisa (*All Fields*). Como resultado foram obtidos 21 artigos para o período de 1945 a 2024. Esta cronologia é *default* do sistema de busca do WOS e foi mantida para análise, mesmo havendo ciência que os primeiros artigos sobre I4.0 surgiram após 2011 (Meyer, 2019). A baixa produção de artigos, entretanto, demonstra que há oportunidade de desenvolver pesquisas que ampliem o campo de discussão sobre o tema.

A distribuição dos 21 artigos por ano de publicações é apresentada na Figura 2. Nela, observam-se um primeiro pico de 6 artigos em 2020 e um segundo pico em 2022 com 5 artigos. Deste modo, pela baixa quantidade de dados, não é possível inferir tendência.

Figura 2 - Distribuição de Artigos Pesquisada na Base WOS



Fonte: O Autor

Apesar da relevância do tema alinhamento estratégico e I4.0, o que se observa na literatura é um foco maior na produção de trabalhos com viés no aspecto tecnológico e estrutural da I4.0. São, assim, artigos com aspecto mais operacional e tático, que com abordagem estratégica. As possíveis respostas para esse comportamento podem ser resumidas a duas razões principais: um certo ineditismo do tema I4.0, fato que atrai a atenção de praticantes e acadêmicos sobre barreiras, nível de prontidão, aplicação e utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0 (Chiarini, Belvedere e Grando, 2020); o outro motivo é a própria crítica sobre o conceito de alinhamento estratégico, por ser de ordem mais teórica do que prática (Karpovsky e Galliers, 2015).

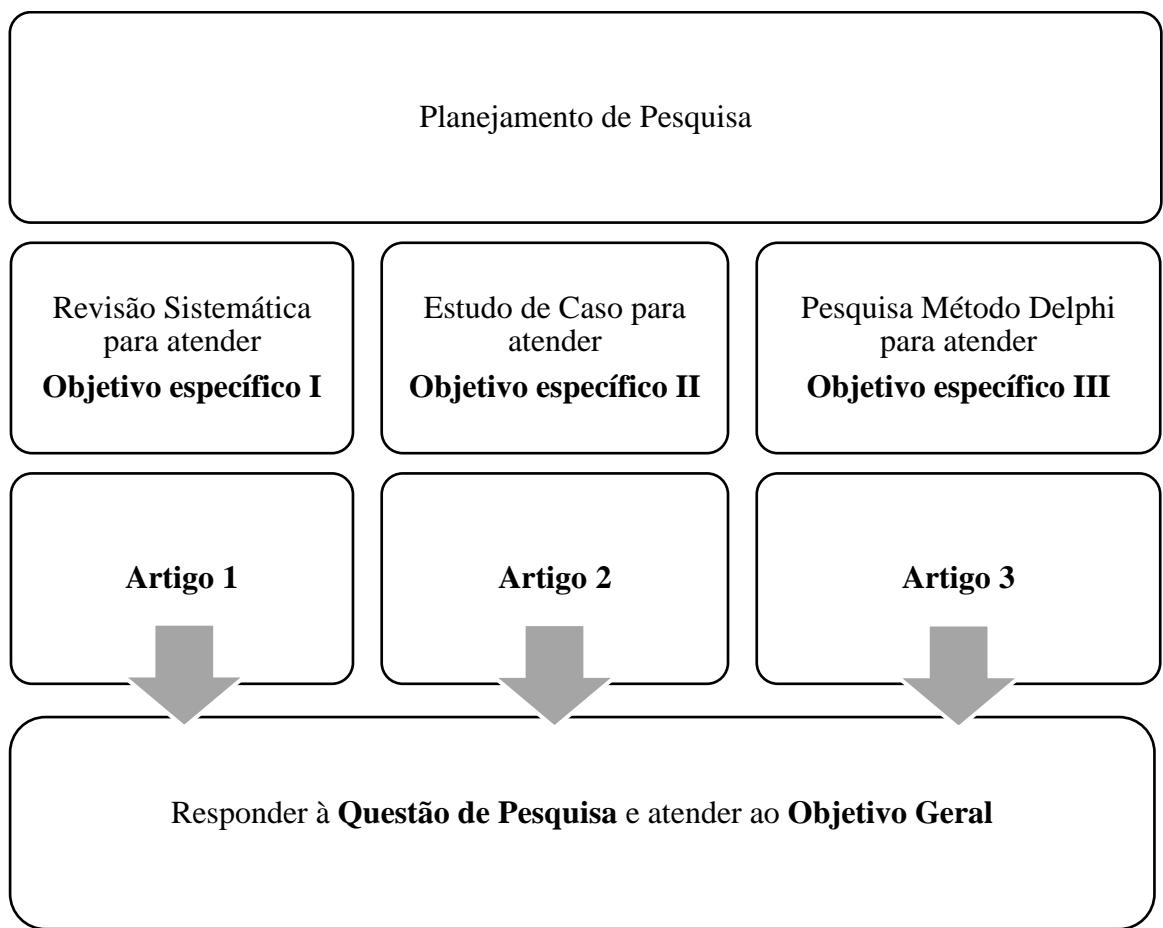
Este projeto de pesquisa utiliza como orientação o modelo de Henderson e Venkatraman (1993) e, por ter mais de 20 anos de publicação, justifica a revisão do modelo seminal sob a luz das novas tecnologias habilitadoras da I4.0, pois, como é apresentado por Whetten (2003), os efeitos teóricos dos modelos variam com o passar do tempo, seja porque outras variáveis surgem ou porque os efeitos teóricos são instáveis por alguma razão. A despeito de o modelo de Henderson e Venkatraman (1993) ser referência no que tange à classificação quanto ao alinhamento (Joia e Souza, 2009), ele também indica a importância do trabalho seminal. E mais: considerando que estudiosos organizacionais costumam não formular teorias a partir do zero,

mas sim costumam aprimorar aquilo já está consolidado (Whetten, 2003), cria-se a motivação para desenvolver um modelo explicativo, tendo-se como base o modelo seminal.

### 1.7 Metodologia Resumida

A metodologia resumida aqui apresentada visa a responder à questão de pesquisa, conforme hierarquia apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Planejamento de Pesquisa



Fonte: O Autor

A etapa inicial compreendeu desenvolver o Artigo 1. Trata-se de uma revisão sistemática para atender o Objetivo Específico I: Analisar as implicações do alinhamento estratégico na implementação de tecnologias I4.0 e avaliar criticamente os conceitos e

limitações da I5.0 na obtenção de um alinhamento estratégico eficaz. A revisão sistemática foi realizada sobre noventa e sete artigos, resultado de busca com a string “*Industry 4.0*” AND “*Strateg\**” OR “*Industry 5.0*” AND “*Strateg\**”, nas bases de dados Scopus e *Web of Science*. Um modelo conceitual sobre linhas de pensamento, considerando a I4.0 e a Indústria 5.0 (I5.0) é um dos resultados desta pesquisa.

O Objetivo Específico II: Verificar a aplicação da perspectiva Transformação Tecnológica do modelo de alinhamento estratégico entre TI e negócios, desenvolvido por Henderson e Venkatraman, em companhias que adotam tecnologias habilitadoras da I4.0, foi atendido com a produção do Artigo 2, com método de estudo de caso e natureza exploratória. Foram analisadas onze empresas da grande São Paulo, escolhidas por conveniência, em pesquisa realizada em julho de 2021. O Artigo 2, ainda na sua vez, foi publicado no congresso APMS 2022.

O Objetivo Específico III: Apresentar um modelo que suporte a tipificação do alinhamento estratégico, considerando as tecnologias emergentes da I4.0 foi contemplado com o Artigo 3. A publicação do mesmo Artigo 3 é fruto de uma pesquisa de natureza qualitativa e da aplicação de método Delphi. Oito painelistas foram convidados a apoiar na construção do modelo explicativo em dois grupos: (1) Praticantes, com experiência profissional em empresas com iniciativas ou fornecedoras tecnológicas da I4.0; (2) Acadêmicos, com titulação em mestrado ou doutorado em áreas afins à Engenharia de Produção. As fases previstas para aplicação do método Delphi (Selecionar painelistas; Formulação das questões a serem respondidas; Brainstorming; Estreitar a lista de respostas apresentadas; Ranqueamento das respostas e Fechamento com convergência das respostas) estão alinhadas ao proposto por Okoli e Pawlowski (2004). Na sua vez, as assertivas elaboradas para resposta dos painelistas terão como base teórica o modelo conceitual de alinhamento proposto no próprio Artigo 3.

A etapa final é a consolidação dos três artigos que compõem a Tese e, desta forma, atender o Objetivo Geral de Pesquisa: Desenvolver um modelo explicativo, baseado no modelo de Henderson e Venkatraman, que relate as tecnologias habilitadoras da I4.0 ao alinhamento estratégico das organizações de manufatura. Como consequência, busca-se responder à Questão de Pesquisa: como um modelo explicativo poderá relacionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 e a estratégia de empresas de manufatura?

O uso do modelo explicativo é visto como um conceito interrelacionado com a teoria (Fleury, 2010), com o principal diferencial de oferecer na representação visual a possibilidade de melhorar a compreensão do leitor (Whetten, 2003). Modelos são esquemas abstratos da realidade enquanto recurso metodológico e são necessários pela própria limitação filosófica humana (Sayão, 2001). Sendo assim, modelos auxiliam na explicação, ao se oferecer como uma solução de um quebra-cabeça não resolvido (Kuhn, 2013). Todo modelo contém um fator especulativo e a sua falseabilidade deve ser considerada constantemente (Pietrocola, 1999). Portanto, os modelos hipotéticos se assumem como reais, quando é possível receber confirmação empírica, em uma progressão de percebido para idealizado (Kuhn, 2013). Desta forma, o método científico apresentado para construção do *design* do modelo explicativo procura abranger tanto a pesquisa teórica, Artigo 1, como a comprovação empírica, Artigos 2 e 3.

O modelo explicativo desenvolvido visa a responder como as empresas de manufatura são classificadas pelo alinhamento estratégico praticado. Portanto, em uma abordagem contingencial, admite-se que empresas distintas podem ter posturas de alinhamento diferentes quanto aos projetos de aplicação de tecnologias emergentes da I4.0, fruto das suas decisões estratégicas. Em outra medida, pela poderá apoiar uma organização industrial a definir quais projetos inovativos em novas tecnologias da I4.0 devem ser desenvolvidos para se atingir uma perspectiva de alinhamento estratégico.

## **1.8 Organização do texto da tese**

Esta tese é composta por seis capítulos, cada um com uma função específica no desenvolvimento da pesquisa:

### **Capítulo 1: Introdução**

Apresenta a introdução ao fenômeno pesquisado, a problematização e o escopo, formulando a questão de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a apresentação da justificativa e da metodologia de forma resumida.

### **Capítulo 2: Referencial Teórico**

Aborda a revisão da literatura relevante, discutindo os construtos centrais da pesquisa, como o alinhamento estratégico e a I4.0. Este capítulo também estabelece as bases teóricas para o modelo de alinhamento proposto.

### **Capítulo 3: Metodologia**

Detalha a metodologia utilizada na pesquisa, com uso de artigos para responder ao problema de pesquisa, incluindo a abordagem aplicada aos artigos.

### **Capítulo 4: Resultados**

Apresenta os resultados da pesquisa no formato de três artigos científicos:

Artigo 1: Submetido a uma revista científica.

Artigo 2: Submetido e aprovado em congresso científico.

Artigo 3: Submetido a uma revista científica.

### **Capítulo 5: Discussão**

Discute os resultados obtidos, relacionando-os com os objetivos gerais e específicos da pesquisa. Este capítulo também analisa como os resultados respondem à questão de pesquisa e compara as descobertas com a revisão teórica realizada.

### **Capítulo 6: Considerações Finais**

Apresenta as conclusões finais da pesquisa, identifica suas limitações e propõe direções para futuras investigações que possam dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

Cada capítulo da tese desempenha um papel no desenvolvimento e na estruturação da pesquisa, com abordagem completa e coerente, desde a introdução do fenômeno até as considerações finais e proposições futuras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os constructos do projeto de pesquisa: I4.0 e Alinhamento Estratégico. Faz também resgate da teoria sobre Indústria 5.0 (I5.0), apesar de isto não estar no escopo da pesquisa, conforme apresentado no item 1.3.

### 2.1. Indústria 4.0

I4.0 se refere a um conceito de fábrica em que as máquinas são equipadas com sensores e conectadas a um sistema adaptativo que toma decisões a partir da análise de dados coletados em abundância e em tempo real (Jaskó *et al.*, 2020). A quarta revolução industrial confere a I4.0 não apenas a adoção de novas tecnologias em um nível distinto. A I4.0 tem-se mostrado como uma alternativa para enfrentar os desafios de uma concorrência global com alta competição, um mercado consumidor mais exigente com demanda por produtos customizados e produtos de ciclo de vida e prazo de entrega cada vez mais curtos (Gillani *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021). A I4.0 introduziu um mundo de manufatura inteligente (Azman e Ahmad, 2020), ou seja, fundamentada em descentralização, em suporte em tempo real, em modularidade, virtualização e em orientação a serviço (Zheng *et al.*, 2021). Denota assim, uma forte integração de objetos físicos e instalações de produção em redes de informação virtual (Santos *et al.*, 2021).

A globalização, a customização em massa, os clientes demandantes de produtos customizados e os ambientes de negócios mais competitivos significam que a empresa de manufatura está enfrentando novos desafios de negócios na atual economia (Zheng *et al.*, 2021). Como resultado, rapidez física e informacional com transações ágeis são adotadas para tornar a fabricação mais veloz e flexível, levando ao desenvolvimento de fabricação inteligente (*smart manufacturing*), o que facilita o desenvolvimento, a entrega e a aceitação do produto no mercado, com uma abordagem centrada no cliente (Parhi, Joshi e Akarte, 2021). Outras características são elencadas com a *smart manufacturing* por Fakhri *et al.* (2021), tais como: novos métodos de planejamento considerando mais variáveis; dados coletados em diversos dispositivos; automação em atividades repetitivas ou semi repetitivas; manutenção proativa; cadeia de suprimentos conectada e, gestão de energia eficientizada.

Não há uma unanimidade sobre quais novas tecnologias compõem a I4.0. Mas é possível listar as tecnologias referenciadas como habilitadoras da I4.0, conforme o que nos apresenta o Quadro 1.

Quadro 1 - Lista de Tecnologias Habilitadoras da I4.0

	Big Data Analytic	CPS	IoT	Realidade Aumentada	Cloud Computing	Cyber Security	Additive Manufacturing	Modelagem e Simulação	Integração Horizontal	Integração Vertical	Blockchain	IoS	IIoT	Inteligência Artificial	AGV	RFID	Gêmeos Digitais
(Lee <i>et al.</i> , 2019)	•	•	•														
(Buchi, Cugno e Castagnoli, 2020)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
(Zheng <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•			•	•			•						
(Santos <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•				•					•					
(Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020)		•	•														
(Ghobakhloo e Iranmanesh, 2021)	•	•							•	•	•	•	•				
(Machado <i>et al.</i> , 2021)		•							•	•							
(Veile <i>et al.</i> , 2018)	•	•							•	•							
(Chiarini, 2020)	•	•															
(Kumar <i>et al.</i> , 2021)				•									•				
(Zant, El <i>et al.</i> , 2021)	•	•		•	•	•	•	•	•	•			•				
(Culot <i>et al.</i> , 2020)	•	•	•		•		•	•	•	•	•						

	Big Data Analytic	CPS	IoT	Realidade Aumentada	Cloud Computing	Cyber Security	Additive Manufacturing	Modelagem e Simulação	Integração Horizontal	Integração Vertical	Blockchain	IoS	IIoT	Inteligência Artificial	AGV	RFID	Gêmeos Digitais
(Chiarini, Belvedere e Grando, 2020)	•	•	•		•		•		•						•		
(Soomro <i>et al.</i> , 2021)	•				•	•		•	•	•			•				
(Bagnoli, Dal Mas e Massaro, 2019)	•		•	•	•	•	•	•									
(Gu <i>et al.</i> , 2019)		•								•							
(Souza, M. L. H. <i>et al.</i> , 2020)														•	•		
(Salam, 2019)	•	•	•			•				•							
(Contreras, Garcia e Pastrana, 2017)		•	•										•				
(Alao e Gbolagade, 2019)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							
(Ghobakhloo, 2020)	•				•	•		•	•	•			•				
(Lin, Sheng e Jeng Wang, 2020)	•					•											
(Marques <i>et al.</i> , 2017)										•							
(Kumar, Vrat e Shankar, 2021)	•	•	•	•	•	•	•	•			•		•				
(Mohamad <i>et al.</i> , 2021)	•	•	•	•	•	•	•	•									
(Parhi, Joshi e Akarte, 2021)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•						•

Big Data Analytic	CPS	IoT	Realidade Aumentada	Cloud Computing	Cyber Security	Additive Manufacturing	Modelagem e Simulação	Integração Horizontal	Integração Vertical	Blockchain	IoS	IIoT	Inteligência Artificial	AGV	RFID	Gêmeos Digitais
(Yavas e Ozkan-Ozen, 2020)	•	•	•													

Fonte: O autor

De forma resumida, baseando-se no proposto por Lu (2017); Buchi, Cugno e Castagnoli (2020); Molano et al (2018); Ghobakhloo (2020); Culot *et al.* (2020); El Zant *et al.* (2021); Jaskó *et al.* (2020); Reis *et al.* (2022) e, Zawadzki e Zywicki (2016), as tecnologias pertencentes ao guarda-chuva da I4.0 podem ser assim definidas:

*Big Data Analytic*: é composta de grande quantidade de dados coletados, classificados, analisados e guardados com o objetivo de identificar padrões e comportamentos em processos repetitivos.

*CPS* ou *Cyber Physical Systems*: é o sistemas que integra funcionalidades fabris através de redes para habilitar conexões das operações físicas com computação e infraestrutura de comunicação.

*IoT*: ou *Internet of Things*, conecta vários dispositivos equipados com sensores, identificação, processadores, comunicação com capacidade de trabalhar em rede

*Realidade Aumentada*: é o sistema que associa ao mundo físico interação com o meio virtual.

*Cloud Computing*: permite a flexibilidade de armazenamento e processamento de dados ao não depender de armazenamento físico, mas sim de conexão de rede de internet.

*Cyber Security*: é a reunião de medidas de segurança projetadas para proteger o fluxo de informações sobre sistemas corporativos interconectados.

*Manufatura Aditiva*: e também conhecida como impressão 3D; ela auxilia a conversão virtual para a física de um design de produto.

*Modelagem e simulação*: apoiam a análise de produção em ambiente virtual, antes da fabricação física do produto.

*Integração Horizontal*: integra-se por módulos que podem iniciar desde o fluxo de insumos até a logística do ciclo de vida do produto, incluindo envio de dados entre máquinas e estações de trabalhos. Termo *horizontal* foi cunhado tendo como referência o mapeamento de processos em que o fluxo de produção e o de distribuição são representados normalmente na horizontal.

*Integração Vertical*: integra produtos, dispositivos, sistemas de informação para apoiar a tomada de decisão na organização. É expressão que faz referência a tradição de associar os

sistemas de apoio de decisão para atender uma hierarquia organizacional representada por uma pirâmide.

*Blockchain*: é um sistema garantidor de informações confiáveis e devidamente autorizadas por meios seguros.

*IoS*: ou *Internet of Services*: é o ecossistema no qual provedores de serviços e consumidores exploram suas redes de negócios para fornecimento e consumo de serviços.

*IIoT* ou *Internet Industrial of Things*: é a combinação da internet das coisas com a manufatura, conectando redes industriais e redes de serviços.

*Inteligência Artificial*: tem papel fundamental para que máquinas e sistemas ganhem habilidade para comportamento autônomo em processos baseados em aprendizagem.

*AGV* ou *Automated Guided Vehicle*: está na alcada de veículos autoguiados possibilitem reconfigurar o manuseio de materiais e equipamentos no chão de fábrica.

*RFID* ou *Radio Frequency Identification*: é o sistema de transferência de dados por rádio frequência, ele confere ao produto com etiqueta RFID a identificação em tempo real e remoto.

*Digital Twin*: imita a operação de sistemas de manufatura; os gêmeos digitais auxiliam no planejamento de processos, visualização em 3D, investigação de cenários e avaliação de riscos.

Para melhor posicionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, foi aplicada a classificação de Cordeiro, Ordóñez e Ferro (2019). No Quadro 2 é apresentada a tipificação das tecnologias.

Quadro 2 – Classificação das tecnologias habilitadoras da I4.0

	Smart Manufacturing	Modelagem e Simulação	Digitalização e Virtualização
Big Data Analytic			•
CPS	•		
IoT	•		
Realidade Aumentada		•	
Cloud Computing			•
Cyber Security	•		

Additive Manufacturing	•		
Modelagem e Simulação		•	
Integração Horizontal	•		•
Integração Vertical	•		•
Blockchain			•
IoS	•		
IIoT	•		
Inteligência Artificial			•
AGV	•		
RFID	•		
Gêmeos Digitais		•	

Fonte: Adaptado de Cordeiro, Ordóñez e Ferro (2019).

Apesar de sua introdução ter ocorrido há vários anos, é ainda difícil definir de forma inequívoca a I4.0. Não há um consenso sobre se, de fato, já estamos em uma próxima etapa da revolução industrial (Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020), ou seja, em uma transformação na forma como as organizações se desenvolvem, ou ainda, uma mudança sistemática na estratégia para o desenvolvimento da sociedade (Kamble, Gunasekaran e Sharma, 2018).

Fora da perspectiva de que a I4.0 compõe o meio de transformação no desenvolvimento da sociedade, o fato é que, apesar de sua importância para manter a competitividade, as empresas enfrentam desafios consideráveis para introduzir a I4.0 (Liebrecht *et al.*, 2021), seja porque há problemas para avaliação da potencialidade da I4.0 em uma determinada empresa e indústria (Machado *et al.*, 2021), seja pela própria natureza de investimento em tecnologias inovadoras caracterizadas de longo prazo (Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020), ao considerar o retorno de investimentos superior a cinco anos (Liebrecht *et al.*, 2021). Outro ponto crítico recai sobre aquelas empresas que enfrentam dificuldade em encontrar mão-de-obra qualificada e especializada para lidar com as tecnologias (Machado *et al.*, 2021). Na literatura esses pontos de restrições na implementação da I4.0 recebem o nome de barreiras (*barriers*) e impactam negativamente as iniciativas de digitalização das empresas de manufatura (Chauhan, Singh e Luthra, 2021). Kamble *et al.* (2018) destacaram doze barreiras: perda de empregos com adoção de novas tecnologias; alto custo de implementação; processo de mudança; falha na gestão do conhecimento; falha ou desconhecimento sobre os benefícios das tecnologias digitais implementadas; falha na adoção de um padrão ou de uma arquitetura de informação; falha na

infraestrutura para apoiar as tecnologias digitais; problemas com segurança e privacidade de dados; problemas de integração com os sistemas legados; problemas com conformidade regulatória e, incertezas legais e contratuais. Os autores, porém, não mensuraram o peso de influência de cada uma delas.

Já Raj *et al.* (2020) relacionaram quinze barreiras que dificultam a implementação da I4.0: alto investimento de implementação; falha de clareza dos benefícios econômicos com I4.0; desafio da integração da cadeia de valor; brecha de segurança com exposição de dados; baixo nível de maturidade para tecnologias digitais; desigualdade econômica e social; desemprego; lacuna de padrões, regulações e formas de certificação; falha de infraestrutura; falta de competências digitais; desafios na qualidade de dados; falha na cultura e no treinamento em tecnologia digital; resistência à mudança; ineficaz gestão da mudança; por último, a falha na estratégia digital para lidar com os recursos inovativos.

Os autores identificaram que a falha na estratégia digital, a falta de padrões, as regulações e as formas de certificação e, por último os altos investimentos receberam mais destaque entre os tipos de barreiras. Em estudo de Khanzode *et al* (2021), são identificadas seis barreiras para implementação da I4.0 em pesquisa realizada na Índia, mas com foco em pequenas e médias empresas: dificuldades de acesso ao crédito; falha de acesso ao mercado; desatualização da tecnologia; falha de políticas governamentais; medo de perda do emprego; falha de compreensão da importância da I4.0 pela alta administração; segurança da informação e falta de preparação da força de trabalho. Das barreiras, os autores listam a desatualização da tecnologia, a falta de políticas governamentais, a falha na compreensão da importância da I4.0 da parte da administração e da segurança da informação como as que merecem maior mitigação na implantação da I4.0. Portanto, os autores listam não apenas barreiras internas aos muros da organização, mas também variáveis dependentes de políticas públicas.

Leong *et al.* (2020) e Singh, Mahanty e Tiwari (2019) relacionam a falta de capacitação da força de trabalho para suporte em I4.0; os altos custos de investimentos; o desenvolvimento e projetos em que a tecnologia não pertence ao “core” da empresa; a limitada capacidade de recursos; a inadequada compreensão de como a I4.0 poderá agregar valor à empresa e, os riscos associados à implementação, que não são claramente identificados pela gestão, são inibidores da implementação de uma transformação digital nas indústrias, o que desencoraja executivos, em específico os das pequenas e médias empresas, com natural impacto na economia do país, tendo em vista a natural perda de competitividade.

Lim *et al.* (2020) indicam a necessidade de mão de obra qualificada e qualificação de funcionários com alfabetização digital. Uma característica única na Alemanha, local da pesquisa, é a espinha dorsal do seu sistema de aprendizagem, o que gera foco em formação profissional contínua. A educação na I4.0 precisa estar no centro neste momento. Haverá um novo empoderamento das pessoas nos sistemas de produção na I4.0, mas a automação e as novas máquinas substituirão muitos empregos de baixa competência, o que se caracteriza como uma falha potencial relevante para a implementação das novas tecnologias habilitadoras da I4.0.

Para Kumar, Vrat e Shankar (2021), de uma lista com 23 barreiras levantadas, a análise empírica infere que há falta de comprometimento da alta administração; falta de um roteiro estratégico claro e falta de clareza sobre os benefícios econômicos dos investimentos digitais como as três principais barreiras para a implementação da I4.0.

Para Gjadzik e Wolniak (2021), as principais dificuldades na digitalização da produção são problemas com a integração de novos processos e tecnologias, com as grandes lacunas de conhecimentos entre funcionários antes e depois da digitalização e com a falta de investimento em educação e treinamento em novas tecnologias.

Frente às barreiras que restringem o sucesso da implantação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0, é providencial a criação de modelos para medir a prontidão da organização (Sony e Naik, 2019). Considera-se a prontidão (*Readiness*) para a I4.0 um indicador abrangente da capacidade organizacional, tanto técnica como funcional para adoção e implementação de práticas das tecnologias inovadoras (Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020). Alguns modelos objetivam apoiar pequenas empresas, pois são as que experimentam maiores problemas com a implementação (Axmann e Harmoko, 2020; Brozzi, Riedl e Matta, 2020; Chonsawat e Sopadang, 2020; Pirola, Cimini e Pinto, 2020). Há modelos aplicados para áreas específicas da organização (Tripathi e Gupta, 2021; Zoubek e Simon, 2021), ou ainda, com foco na análise da maturidade organizacional como determinante para a adoção de novas tecnologias (Hajoory e Akhilesh, 2021; Lin, Wang e Sheng, 2020; Pacchini *et al.*, 2019; Schumacher, Erol e Sihn, 2016).

Mas, apesar da propulsão de modelos que apoiam a gestão para a implementação, dois são considerados de abordagem mais abrangente e de maior campo de aplicação quanto a não ter limitações ao tamanho da organização e ao mercado de atuação (Ghobakhloo, 2018): o desenvolvido pela Acatech (Schuh *et al.*, 2020) e o desenvolvido pela Universidade de Warwick (Agca *et al.*, 2017).

O índice de maturidade Acatech divide a estrutura de uma empresa em quatro áreas: recursos, sistemas de informação, cultura e estrutura organizacional. Dois princípios orientadores, juntamente com as capacidades necessárias, são identificados para cada área (Schuh *et al.*, 2020).

Para o modelo de Warwick, há seis áreas a serem analisadas e quantificadas para obter o índice de maturidade: produtos e serviços; fabricação e operações; estratégia e organização; cadeia de suprimentos; modelo de negócio e, considerações legais. Conforme a quantificação, a organização é ranqueada em um dos quatro níveis de maturidade (Agca *et al.*, 2017).

As barreiras de implementação da I4.0 norteiam o insucesso da implementação e o uso de modelo para orientar a adoção de tecnologias tem se mostrado como uma alternativa a ser considerada para diminuir o risco de falhas (Leong *et al.*, 2020). Estes riscos são fomentados pela própria incerteza sobre a direção futura e as opções em tecnologia (Ghobakhloo, 2018). Para diminuir a incerteza antes mesmo da implantação, Leong *et al.* (2020) recomendam uma análise, visando a medir o nível de prontidão, com o uso do *Lean and Green Index* (LGI), o que permitirá que a organização meça sua atual situação e quais esforços são necessários para atingir níveis maiores. O LGI é composto de três principais grupos: Flexibilidade de Recursos, que medem a capacidade de recursos e desempenho; Correção de Recursos, com foco em medir desempenho e controle dos recursos e, Meio Ambiente, com viés para perspectiva de emissão de poluição, desperdício de energia e descarte de materiais.

Singh, Mahanty e Tiwari (2019) desenvolveram um modelo adaptativo de manufatura inclusiva (*Inclusive Manufacturing*), composto de políticas e padrões para resolver as integrações de modelos de manufatura e tecnologias emergentes visando a atender em específico a micro, pequenas e médias empresas.

Demeter e Losonci (2020) fornecem um modelo para reflexão do impacto das tecnologias emergentes digitais no negócio, com resultados operacionais e resultados financeiros. O foco é em inovação, mas eles deixam claro que sua extensão é limitada a uma visão ampla e não uma visão de um guia a ser seguido.

Agostini e Filippini (2019) relacionam considerações para a implementação da I4.0. Entendem-na como a preparação da força de trabalho para a transformação digital; como o conhecimento dos conceitos *lean* de produção; como a implantação do sistema integrado de gestão (ERP), interligados com clientes e fornecedores; como a inovação aberta para explorar os benefícios da tecnologia emergente. Os autores também relacionam a importância de a gestão

saber extrair da I4.0 o diferencial competitivo, preparando a organização para esta transformação. Reforçam que a implementação da I4.0 não é um caso pontual. Ela deve ser considerada como uma abordagem longitudinal, com foco não apenas em tecnologia, mas também em práticas organizacionais e gerenciais. Isto denota a importância de sincronia entre decisões estratégicas corporativas e práticas de novas tecnologias (Kearns e Sabherwal, 2006). As tecnologias inovadoras da I4.0 compõem um dos artefatos da TI (Trstenjak *et al.*, 2020).

### 2.1.1. Indústria 5.0

O tema Indústria 5.0 (I5.0) não compõem o escopo desta tese, mas em razão da repercussão recente na literatura, é apresentado dele uma breve descrição contextual.

A Comissão Europeia divulgou uma publicação, descrevendo a I5.0 (Renda *et al.*, 2022). Reconhecendo a rápida evolução da tecnologia e o impacto transformador da I4.0, este documento destaca a necessidade de as indústrias demonstrarem adaptabilidade e resiliência (Xu *et al.*, 2021). Considerando as restrições associadas à abordagem centrada na tecnologia para I4.0, as indústrias são incentivadas a priorizar as seguintes dimensões:

- Colaboração Centrada no Ser Humano: A I5.0 promove a importância do envolvimento humano juntamente com máquinas inteligentes, enfatizando o valor da criatividade humana na resolução de problemas e nos processos de tomada de decisão;
- Continuação dos Princípios I4.0: Enquanto a I4.0 estabelece as bases para fábricas inteligentes e máquinas interligadas, a I5.0 baseia-se nestes princípios, mas com um foco central nos seres humanos nos processos industriais, visando a um futuro sustentável;
- Sustentabilidade: A I5.0 dá alta prioridade à utilização eficiente de recursos e à adoção de práticas ambientalmente conscientes durante todo o ciclo de vida da produção; enfatiza a implantação de tecnologias e estratégias para minimizar o impacto ambiental e promover a responsabilidade social;
- Adaptabilidade e Resiliência: Embora a I4.0 também priorize sistemas adaptáveis e flexíveis para acomodar flutuações na demanda, a I5.0 coloca uma ênfase maior em sistemas, em inteligência artificial, em redes colaborativas, em simulações e no aproveitamento do conhecimento humano para se adaptar efetivamente às mudanças no cenário empresarial;

- Segurança e privacidade aprimoradas: A I5.0 reconhece os riscos de segurança cibernética associados às redes de fabricação modernas e defende o uso de tecnologias para proteger a segurança e a privacidade dos dados em todo o ecossistema de fabricação;
- Redes Colaborativas: A I5.0 reconhece o imperativo dos esforços colaborativos na elaboração de produtos e serviços inovadores para alcançar resultados ótimos; as principais partes interessadas, incluindo clientes, aliados da indústria, fornecedores e órgãos governamentais assumem papéis fundamentais em iniciativas colaborativas facilitadas pelas tecnologias digitais;
- Perspectiva Holística: A I5.0 defende uma abordagem abrangente para a aplicação de tecnologias digitais, considerando as implicações mais amplas de seu uso e tomando medidas proativas para mitigar os impactos socioambientais, ao mesmo tempo em que busca a eficiência operacional.

## **2.2. Alinhamento estratégico**

Apesar do surgimento da era digital, não é recente a discussão do papel e do impacto de TI no ambiente organizacional. Porter e Millar (1985) apontam que TI afeta a competição por três caminhos: (1) altera as regras de competição entre empresas; (2) cria vantagens competitivas superiores em relação aos competidores e, (3) gera modelos de negócios totalmente novos. Mesmo assim as organizações encontram dificuldade em gerar valor com investimentos em tecnologias, o que demonstra uma falha no alinhamento estratégico entre TI e negócio (Borges *et al.*, 2021). É consolidada a posição de que o alinhamento estratégico e a efetividade das ações de TI têm impacto positivo no desempenho do negócio (Chan *et al.*, 1997; Kearns e Sabherwal, 2006; Silva *et al.*, 2020). Segundo Avison *et al.*, (2004) o alinhamento apoia a empresa em três meios: (1) maximiza retorno de investimentos em TI; (2) ajuda a atingir vantagem competitiva e, (3) provê direção e flexibilidade para reagir a novas oportunidades. Alinhamento estratégico aqui denota a integração entre as estratégias corporativas e de TI (Joia e Souza, 2009), ou seja, o alinhamento está presente quando o conjunto de estratégias de TI são derivativos do conjunto estratégico organizacional (Brodbeck e Hoppen, 2003), com respostas em infraestrutura, habilidades e processos organizacionais de TI e negócio (Joia e Souza, 2009; Silva *et al.*, 2020). O alinhamento estratégico tem como característica ser um processo dinâmico

e evolutivo de mudanças pela própria natureza que o cerca (Hirschheim e Sabherwal, 2001; Karpovsky e Galliers, 2015), sendo uma via de mão dupla, pois a estratégia de negócio influência a estratégia de TI e vice-versa (Joia e Souza, 2009). Para Luftman, Lewis e Oldach (1993), negócio e tecnologia estão alinhados quando objetivos de negócios são habilitados, suportados e estimulados pelas estratégias. Frente à complexidade de ações necessárias, tomam relevância propostas de modelos a serem seguidos para atingir o alinhamento. Diversos modelos foram desenvolvidos para analisar o alinhamento estratégico relativos a TI. Sem aqui ter a pretensão de esvaziar o tema, alguns desses modelos são citados neste capítulo: (1) o que considera a integração funcional de áreas de negócios e TI (Henderson e Venkatraman, 1993) e utilizado como referência para outros modelos; (2) o que identifica qual a importância/influência da estratégia de TI e estratégia de negócios no presente e no futuro (McFarlan, 1984); (3) o que considera as questões externas da integração (Joia e Souza, 2009); (4) o que considera as dimensões intelectuais (formais) e sociais (informais) (Reich e Benbasat, 1996); (5) o que se alicerça na teoria de contingência, portanto, adaptativa as capacidades da organização (Teo e King, 1997); (6) o que é evolutivo ao longo do tempo (Brodbeck e Hoppen, 2003); (7) o que considera o capital social para estabelecer a confiança entre os atores no processo (Schlosser *et al.*, 2015); (8) o que trata da gestão do conhecimento interno como referência do modelo (Kearns e Sabherwal, 2006); (9) o que trata a gestão da inovação como alavanca no processo de alinhamento (Cui *et al.*, 2015); (10) os que foram propositivos em medir a maturidade (Luftman, 2000); (11) os que avaliam empresas com diversos negócios (Reynolds e Yetton, 2015).

O modelo de Posicionamento do Sistema de Informação de Mcfarlan (1984) ou Grid Estratégico como é apresentado por Laurindo (2008), representado na Figura 4, categoriza as empresas em quatro tipos distintos com base em como elas utilizam a TI para competir. Essas categorias são: (1) Suporte, nesta categoria as empresas usam TI para suportar as operações existentes, não representando uma fonte de vantagem competitiva significativa; (2) Fábrica, essas empresas utilizam a TI para melhorar e eficiência e a produtividade, mas não é central para a estratégia competitiva da empresa; (3) Transição, os sistemas de informação são utilizados como parte de um esforço para identificar problemas, reorganizar processos e tomar decisões estratégicas e, (4) Estratégia, ele é o nível mais avançado, pois, em sua ação, a TI é integral para a estratégia da empresa. Os investimentos em TI realizada pela organização são proativos para desenvolver novos produtos e serviços. As categorias representam uma

progressão e destacam a importância de entender como a TI pode ser aplicada de maneira estratégica para criar valor e vantagem competitiva em diferentes contextos empresariais.

Figura 4 - Modelo de Posicionamento do Sistema de Informação (1984)

	Baixo	Alto
Baixo	Suporte	Transição
Impacto Estratégico dos sistemas operacionais existentes	Fábrica	Estratégico
Alto		

Impacto Estratégico do Portfólio de Desenvolvimento de Aplicativo

Fonte: Mcfarlan (1984)

O modelo de alinhamento estratégico de Henderson e Venkatraman (1993), conforme Figura 5, tem como princípio básico a integração entre negócios e TI. Este modelo é composto por dois blocos principais (Silva *et al.*, 2020):

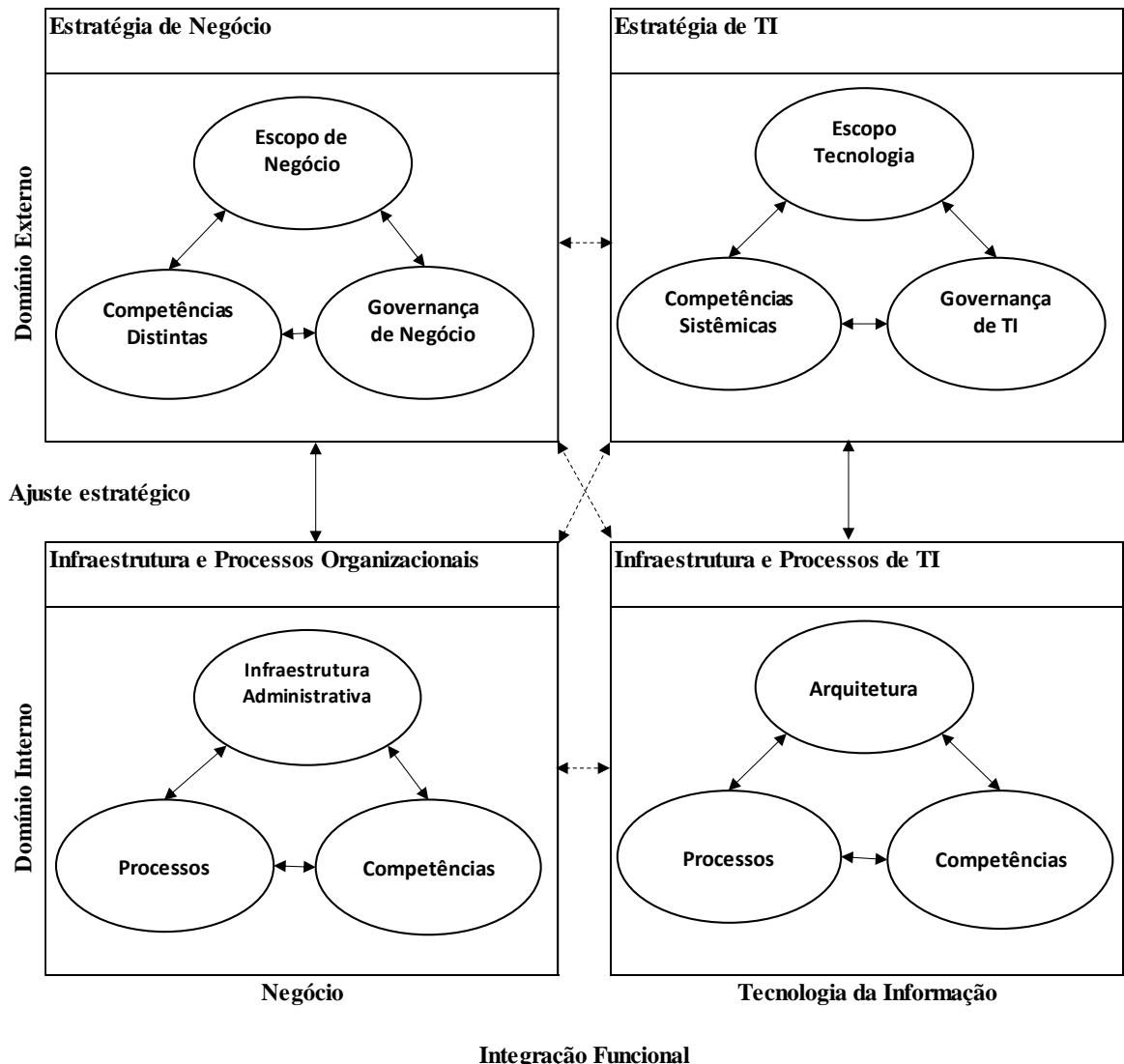
**1. Bloco de Negócios:** Este bloco reconhece a necessidade de qualquer estratégia abordar tanto os domínios externos, que são influenciados pelo ambiente competitivo da organização, quanto os domínios internos, que envolvem a estrutura organizacional, competências e os processos críticos.

**2. Bloco de TI:** De igual importância, este bloco enfoca a TI, abrangendo domínios externos, como o posicionamento estratégico da TI no mercado, e domínios internos, que incluem a infraestrutura e os processos que sustentam a tecnologia.

A primeira dimensão do modelo, denominada **ajuste estratégico**, relaciona-se aos blocos de infraestrutura de negócios e de TI, acompanhando, respectivamente, as estratégias de

negócios e de TI na vertical. A segunda dimensão do modelo, denominada **integração funcional**, ocorre horizontalmente e diz respeito à integração entre as funções de negócios e de TI. Esta integração é materializada pelas escolhas estratégicas feitas nos domínios de negócios e seus impactos nos domínios de TI, e vice-versa (Avison *et al.*, 2004).

Figura 5 - Modelo de Alinhamento Estratégico Henderson e Venkatraman (1993)



Fonte: Adaptado de Henderson e Venkatraman (1993).

Na Figura 5, é possível identificar os dois blocos de dimensões (negócio e TI) e de domínios externos (estratégia de negócio e estratégia de TI) e os domínios internos (Infraestrutura, Competências e Processos Organizacionais e Infraestrutura e Processos de TI e Competências). As setas que interligam cada um dos quadrados definem os tipos de integração.

Integração funcional, quando interligam os dois blocos, e Integração estratégica, ou Ajustes estratégico, quando interligam verticalmente os quadrados dos dois blocos. Em cada um dos quadrados são dispostas as escolhas relacionadas ao domínio de que faz parte. Para Domínio Externo, em escopo, as escolhas estão relacionadas ao mercado que é projetado como alvo (escopo de negócio), ou as soluções de tecnologias que são pretendidas (escopo de TI). Em competências são definidas as decisões estratégicas que interferem na competitividade do produto e, ou serviços (competência de negócios), ou atributos tecnológicos que podem exercer influência na estratégia de TI (competência de TI). Em Governança, conferem-se escolhas entre fazer ou comprar, o que gera alternativas, como *joint-ventures*, licenciamento (estratégia de negócios), ou, para estratégia de TI, atributos de alianças com fornecedores ou cliente, pesquisa e desenvolvimento, ou, ainda uso de licenças para tecnologia.

Ainda com base na Figura 5, para o Domínio Interno, para negócio, as escolhas estão relacionadas à Infraestrutura Administrativa e dizem respeito a como é articulada a estrutura administrativa da empresa que lida com funções, responsabilidades e estruturas de autoridade, já para a Arquitetura, em TI estão relacionadas a escolhas sobre sistemas, configurações e arquitetura de tecnologia. Em Processos, as decisões recaem sobre os processos críticos de negócios (Processos de Negócios) que moldam a competitividade da organização. Em Processos de TI, as definições determinam os processos finalísticos de operações de tecnologia. Para Habilidades, as escolhas são as exigidas para que a organização possa executar seus processos de negócio ou processos de TI em relação à seleção, à competência e ao treinamento.

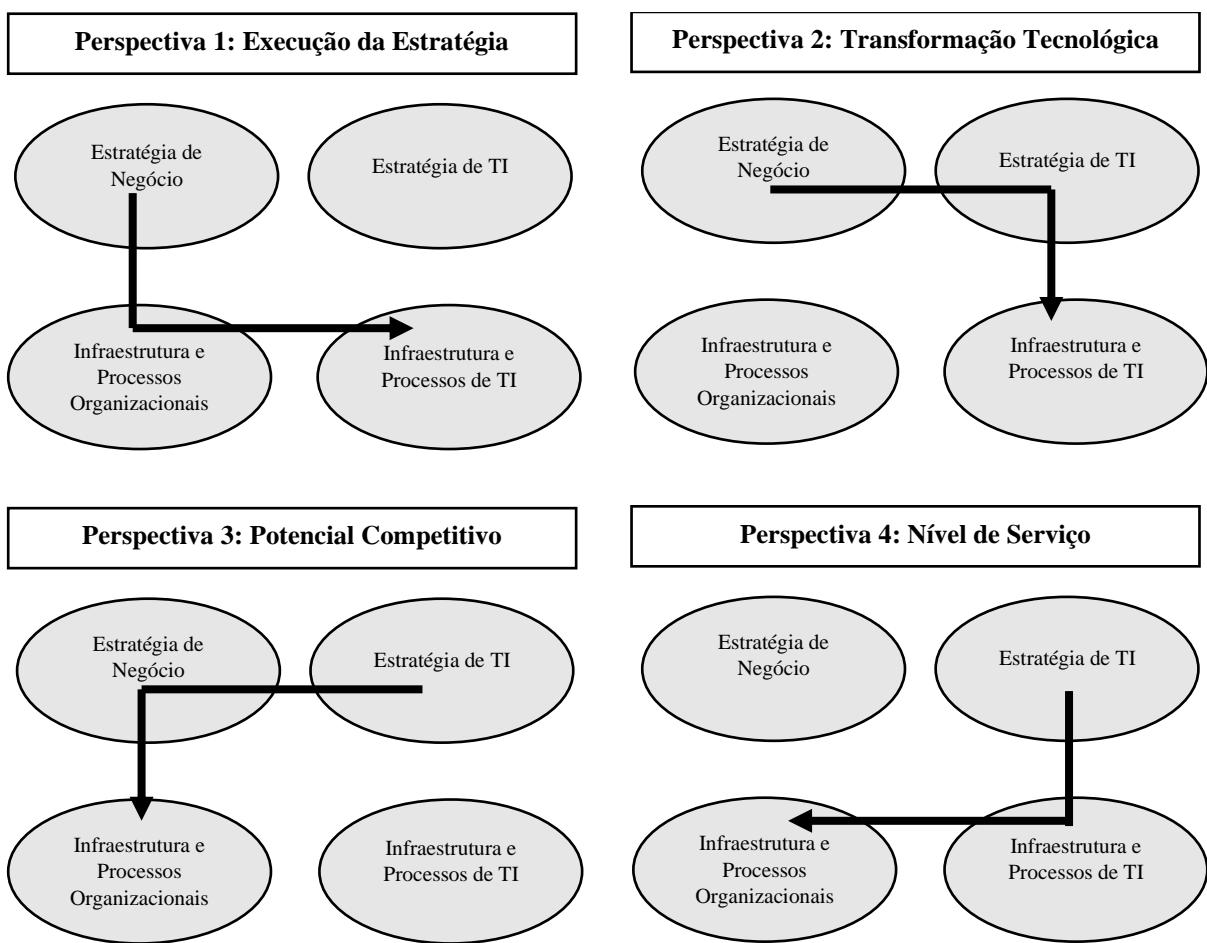
O modelo de alinhamento de Henderson e Venkatraman abre um leque de diferentes estratégias empresariais e as respectivas integrações necessárias (Williams, Torres e Carte, 2022). A abordagem mais simples do modelo requer a consideração de todas as combinações de qualquer dois domínios e uma perspectiva de ajuste bivariado (Henderson e Venkatraman, 1993). A organização, portanto, escolhe a melhor abordagem de alinhamento tendo como base três etapas (Luftman, Lewis e Oldach, 1993): (1) escolher o domínio pivô (estratégia de negócio ou estratégia de TI), assim como a perspectiva; (2) ajustar o método (estratégia de TI, plano de TI ou transformação de negócio); (3) estabelecer uma abordagem para incorporar os resultados do domínio ou quadrado não analisados. Desta configuração são possíveis quatro tipos de relacionamentos (Perspectivas) entre os domínios (Silva *et al.*, 2020), conforme a Figura 6: Execução da estratégia; Transformação tecnológica; Potencial competitivo e Nível de serviço.

As duas primeiras perspectivas (Execução da estratégia e Transformação tecnológica) tem como direcionadora a estratégia de negócio; já nas outras duas, é a estratégia de TI que

condiciona o alinhamento (Potencial Competitivo e Nível de serviços) (Henderson e Venkatraman, 1993).

Na Perspectiva 1, Execução da estratégia, apresentada na Figura 6, a estratégia de negócio é o domínio pivô para ajuste bivariado de infraestrutura e processos tanto de negócios como de TI, conforme sugere a seta. Nessa Perspectiva, a área de TI tem o papel de implementar e sustentar a estratégia formulada pela estratégia de negócio (Luftman, Lewis e Oldach, 1993).

Figura 6 - Modelo de Alinhamento Estratégico com possibilidades de Perspectivas



Fonte: Baseado em Henderson e Venkatraman (1993)

Na Perspectiva 2, Transformação tecnológica, conforme mostrado na Figura 6, o conteúdo envolve formular a estratégia de TI em consonância com a estratégia de negócio; a infraestrutura e os processos de TI são articulados para implementar e sustentar as estratégias (Henderson e Venkatraman, 1993).

Na Perspectiva 3, Potencial competitivo, o domínio pivô passa da estratégia de negócio para estratégia de TI, conforme a Figura 6 apresenta. Aqui o alinhamento estratégico é conferido à TI para que ela desenvolva novos produtos e serviços, influencie competências críticas e atue na governança para efetividade das ações. A estratégia emergente de TI impacta na estratégia da organização que, na sua vez, tem a infraestrutura organizacional na atribuição de realizar os ajustes para implementar e suportar as decisões estratégicas (Luftman, Lewis e Oldach, 1993).

Na Perspectiva 4, conforme apresentado a Figura 6, Nível de serviço, o objetivo é construir uma organização de serviços. Levantamento das necessidades de usuários internos e clientes, contratação de nível de serviços e arquitetura de serviços estabelecidas são os métodos e os critérios de desempenho são baseados na satisfação do cliente interno. Nessa Perspectiva, a área de TI passa a ter o papel de buscar excelência em serviços internos em congruência com as diretrizes operacionais da alta administração (Henderson e Venkatraman, 1993).

O modelo de Henderson e Venkatraman (1993) tem seus blocos relacionados ao contexto atual da transformação digital (Silva *et al.*, 2020). Seus pontos fortes são a natureza da capacidade de TI e o projeto organizacional, o que permite o alinhamento das quatro dimensões (Estratégia de Negócio; Infraestrutura e processos organizacionais; Estratégia de TI e Infraestrutura e Processos de TI) (Luftman, Lyytinen e Zvi, 2017). Para êxito do alinhamento, essas dimensões devem ser equilibradas de forma harmônica (Luftman, Lewis e Oldach, 1993). Em outras palavras, deve-se buscar o entendimento comum de negócio e TI, impulsionando assim, evoluções e mudanças nas estratégias de negócio e de TI (Brodbeck e Hoppen, 2003; Osterwalder, Pigneur e Tucci, 2005). A crítica desse modelo recai em ser conceitual e negligenciar a habilidade da organização em atingir o alinhamento (Luftman, Lyytinen e Zvi, 2017). Outra crítica relaciona-se ao condicionamento da estratégia de TI como subordinada à estratégia de negócio (Bharadwaj *et al.*, 2013). O modelo tem um viés de *hardware*, mostra-se desatualizado com o advento da internet, das redes virtuais e da informação em tempo real, mas as teorias subjacentes permanecem conceitualmente robustas (Avison *et al.*, 2004; Alexander, Isabelle e Michel, 2016).

Outro modelo de integração estratégica é proposto por Reich e Benbasat (1996) e é apresentado no Quadro 3. Ele reforça a necessidade da existência de *link* entre planos de TI e planos de negócios, distinguindo duas dimensões para isto: a Intelectual e a Social (Joia e Souza, 2009). A Intelectual refere-se às metodologias e aos dados usados na formulação estratégica, o que se assemelha ao modelo de Henderson e Venkatraman, conforme relata Williams, Torres e Carte (2022). A dimensão Social refere-se aos fatores pelos quais os atores

no alinhamento optam, tais como grau de envolvimento, método de comunicação e da tomada de decisão (Reich e Benbasat, 1996).

O modelo de Reich e Benbasat (1996) faz distinção entre as causas (fatores que influenciam o alinhamento estratégico) e o efeito (o alinhamento estratégico de TI, por si só). O mesmo modelo remete aos processos organizacionais, desta forma como causa potencial de alinhamento entre TI e negócios (Joia e Souza, 2009).

Quadro 3 - Modelo de Alinhamento Estratégico de Reich e Benbasat (1996)

Dimensão de ligação	Potencial fatores de influência da ligação (Causas)	Ligação (Efeito)
Dimensão Intelectual	I. As metodologias para formulação de missão, objetivos e planos de TI e de negócios e a abrangência das atividades de planejamento	II. O grau em que o conjunto de missão, objetivos e planos de TI e negócios são internamente consistentes e externamente válidos
Dimensão Social	III. Escolhas de atores, tempo, tomada de decisões e comunicação usados na formulação da missão, objetivos e planos de TI e de negócios	IV. Os níveis de compreensão da missão de negócio e de TI, objetivos e planos dos executivos de negócio e de TI.

Fonte: Baseado em Reich e Benbasat (1996)

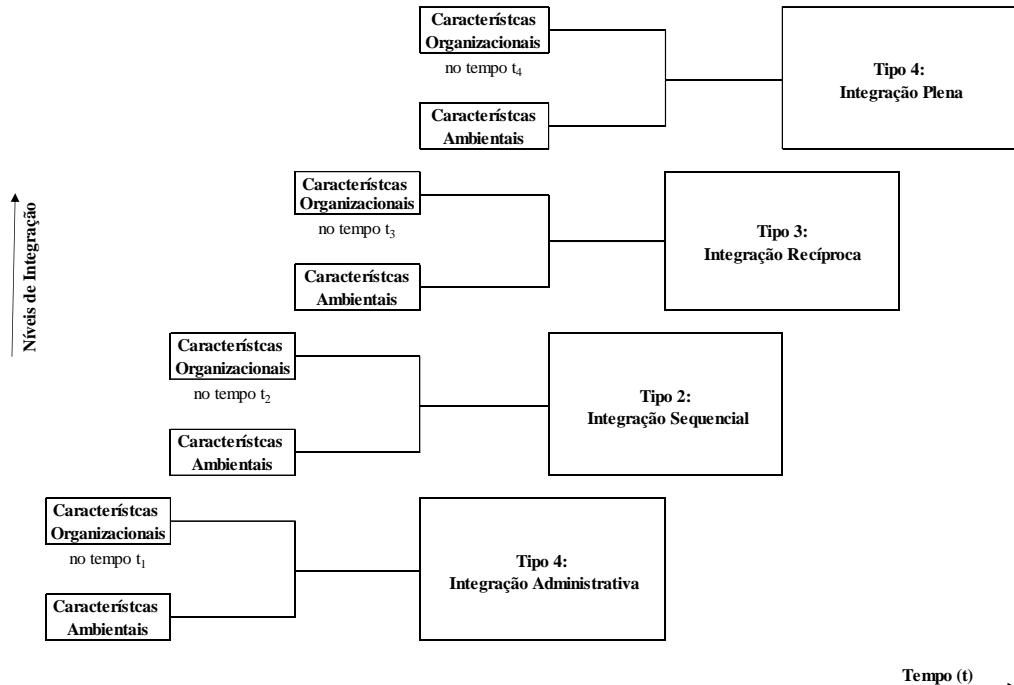
Já o modelo de alinhamento estratégico elaborado por Teo e King (1997), conforme apresentado na Figura 7, tem como elemento-chave o planejamento estratégico para Sistemas de Informação (SI) e a integração do planejamento de SI com o planejamento de negócios.

O alinhamento de Teo e King (1997) define um padrão evolutivo entre negócio e TI que atende quatro etapas (Joia e Souza, 2009):

- (1) Integração administrativa: composto de planos distintos entre negócios e TI;
- (2) Integração sequencial: negócios estabelecem planos que orientam os planos de TI;
- (3) Integração recíproca: planos de negócios e de TI são complementares, tendo a tecnologia o papel de influenciar e dar suporte aos planos de negócios;

- (4) Integração plena: há simultaneidade e integração na elaboração dos planos de negócios e de TI.

Figura 7 - Modelo de Alinhamento Estratégico de Teo e King (1997)

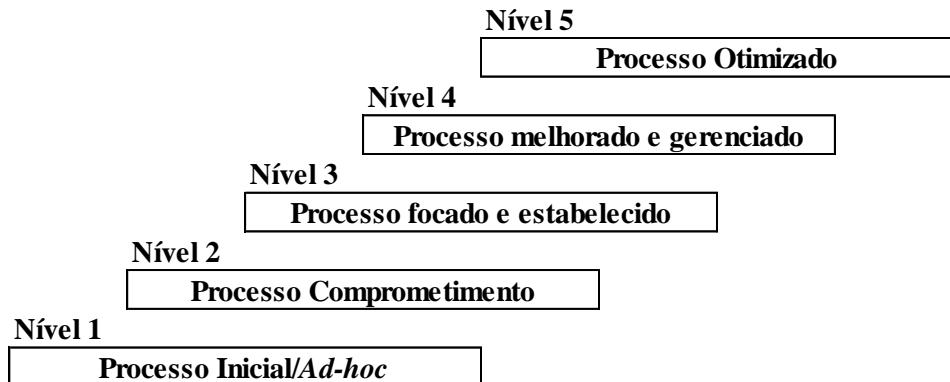


Fonte: Baseado em Teo e King (1997)

O padrão evolutivo é resultado do movimento através dos quatro tipos de integração (Teo e King, 1997). As empresas iniciam o processo de alinhamento pela primeira etapa, Integração administrativa, e é pouco provável “pular” uma etapa ou uma evolução reversa, retornando na escala (Joia e Souza, 2009).

O modelo de Luftman (2000), conforme apresentado na Figura 8, tem como proposição avaliar o grau de maturidade do alinhamento estratégico entre negócio e TI.

Figura 8 - Modelo de Maturidade de Luftman (2000)



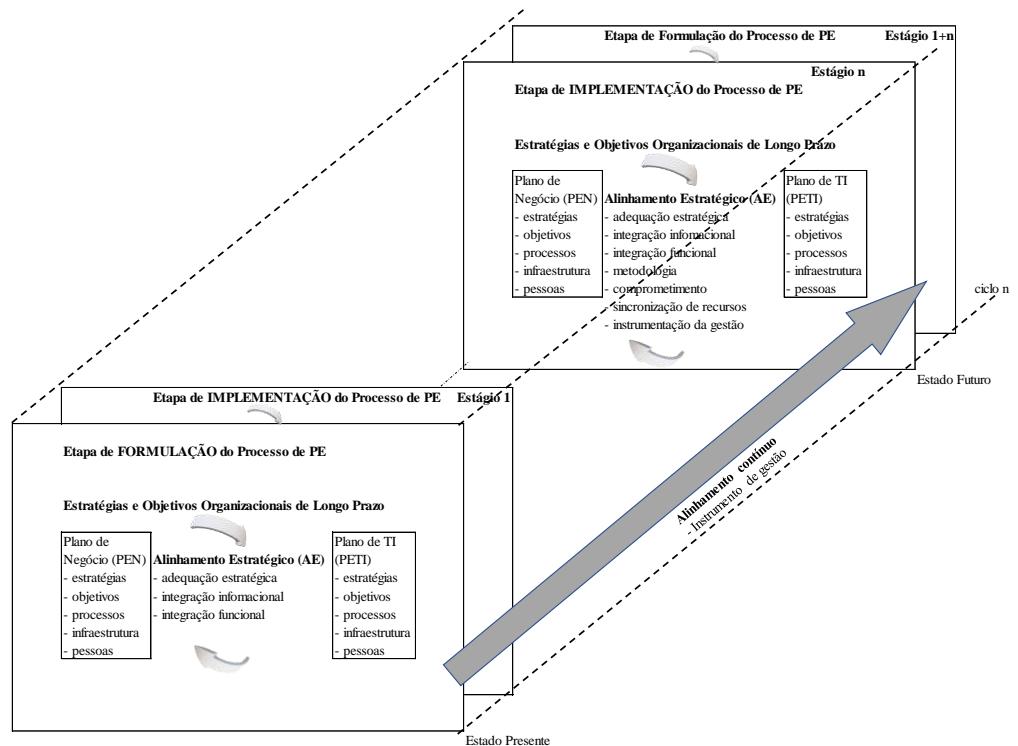
Fonte: Baseado em Luftman (2000)

O grau de maturidade evolui com o aumento da capacidade de TI e das áreas de negócios em se adaptar às suas estratégias mutuamente (Joia e Souza, 2009). Os cinco estágios que compõem o modelo de maturidade são assim definidos (Karpovsky e Galliers, 2015): (1) Inicial ou *Ad hoc*; (2) Comprometimento; (3) Estabilizado e focado; (4) Melhorado e gerenciado e (5) Otimizado.

Luftman (2000) defende que o alinhamento estratégico se refere à aplicação de TI, de forma adequada e no momento correto, em harmonia com as estratégias, os objetivos e as necessidades de negócio, pois o alinhamento estratégico é um processo evolutivo e dinâmico. Para cada nível da escala de maturidade há seis critérios a serem considerados (Karpovsky e Galliers, 2015): Comunicação; Medidas de valor e competência; Governança; Parceria, Escopo e arquitetura e, Habilidades.

Concordando que o alinhamento estratégico é alcançado quando o conjunto de estratégias de TI é originário do conjunto estratégico organizacional e que o desempenho operacional é um indicador do alinhamento, Brodbeck e Hoppen (2003) propõem o modelo com características evolutivas, o que justifica o mesmo modelo ser tridimensional, conforme Figura 9. O primeiro plano representa o alinhamento entre negócio e TI, no momento da formulação do Planejamento Estratégico (PE). Os vários planos seguintes são de implementação do PE com a promoção do alinhamento contínuo. Conforme Joia e Souza (2009), há dois alinhamentos ocorrendo. O primeiro, entre objetivos e estratégias tanto de negócio (PEN), como de TI (PETI); o segundo, de característica cíclica e crescente no tempo, nomeado de estado futuro.

Figura 9 - Modelo de Alinhamento de Brodbeck e Hoppen (2003)



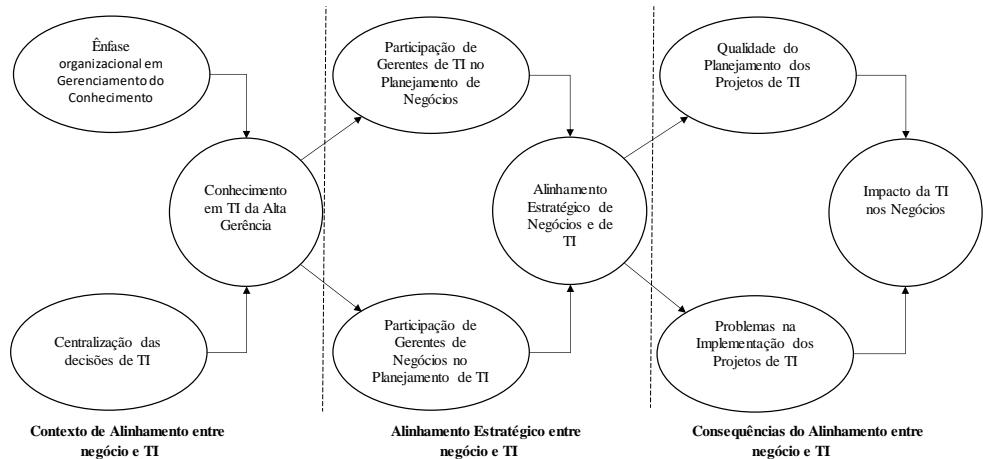
Fonte: Baseado em Brodbeck e Hoppen (2003)

Kearns e Sabherwal (2006), conforme modelo representado na Figura 10, também reconhecem a importância do alinhamento estratégico, mas consideram que a participação das áreas de TI e de negócios na elaboração do plano de negócio e do plano de TI contribui para o alinhamento. A gestão deste conhecimento é capaz de trazer resultados superiores.

A ênfase da organização na gestão desse conhecimento e a centralização das decisões de TI facilitam a participação tanto de TI no planejamento estratégico de negócios, como a participação do negócio no planejamento estratégico de TI (Joia e Souza, 2009).

O caminho natural da esquerda para a direita no modelo representado na Figura 10, significa que os projetos de implementação de TI bem-sucedidos são resultados táticos do alinhamento estratégico.

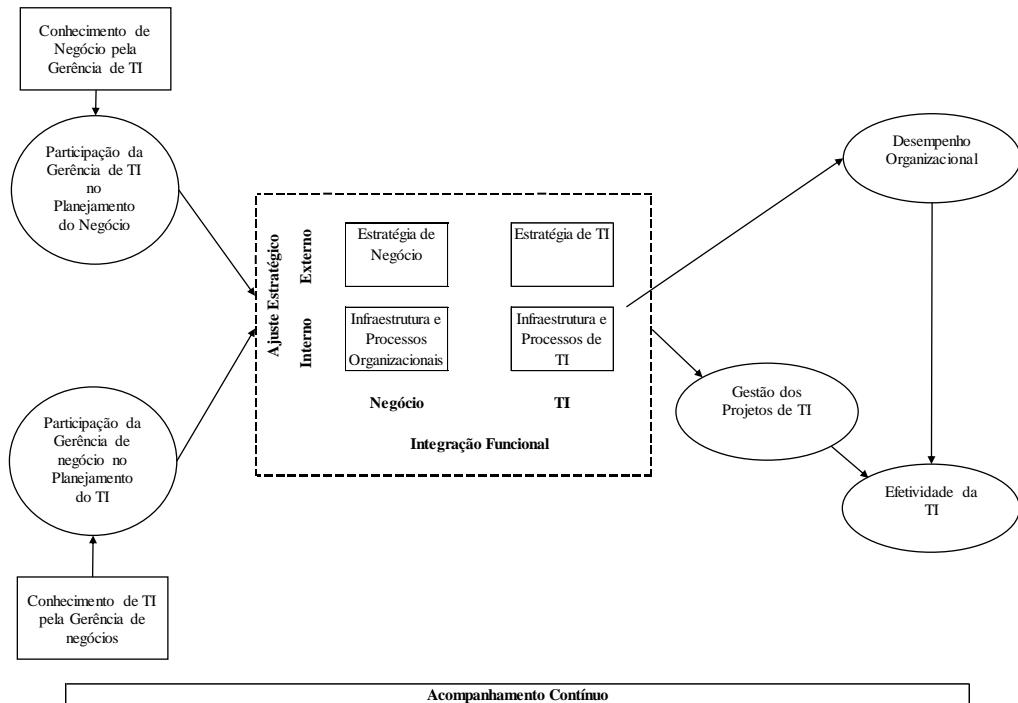
Figura 10 - Modelo de Alinhamento de Kearns e Sabherwal (2006)



Fonte: Baseado em Kearns e Sabherwal (2006)

A participação de executivos de negócios e TI, para desenvolver o planejamento de negócios igualmente, é prevista no modelo de Joia e Souza (2009), exposto na Figura 11. As integrações verticais (alinhamento funcional) e as integrações horizontais (integração estratégica) estão presentes no modelo, tendo como base, na sua vez, o modelo de Henderson e Venkatraman (1993). Ao prever o acompanhamento contínuo, os autores levam em conta o dinamismo do alinhamento, assim como a importância da participação conjunta dos gestores de negócio e de TI no planejamento estratégico de cada área. Outrossim, são considerados no modelo o desempenho organizacional e a efetividade na ação de TI.

Figura 11 - Modelo de Alinhamento de Joia e Souza (2009)



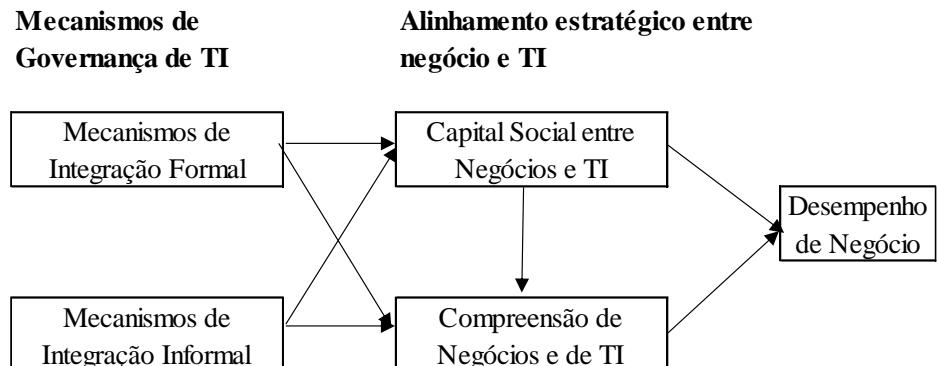
Fonte: Baseado em Joia e Souza (2009)

O modelo proposto por Schlosser (2015) considera o grau do capital social, aqui com conotação de intensidade do relacionamento social, como promotor da mudança, como otimizador na combinação de recursos que resultam na criação de valor.

Conforme a Figura 12, padrões formais e informais de mecanismo de governança de TI direcionam a criação de alinhamento e valores de negócio (Schlosser *et al.*, 2015). Se a empresa estabelece um forte relacionamento social entre negócio e TI, pessoas estão dispostas a resolver problemas juntas e apoiar uma às outras. São considerados mecanismos formais a existência de um canal de comunicação de TI e negócio, reuniões regulares para controlar os processos de mudanças, assim como para identificar e registrar ações de melhorias em processos de negócios.

Já para mecanismos de integração informal, a alta gestão apoia e incentiva a colaboração entre negócio e TI, assim como há articulação no planejamento, na capacitação e na documentação de processos (Schlosser *et al.*, 2015).

Figura 12 - Modelo de Alinhamento de Schlosser *et al.* (2015)

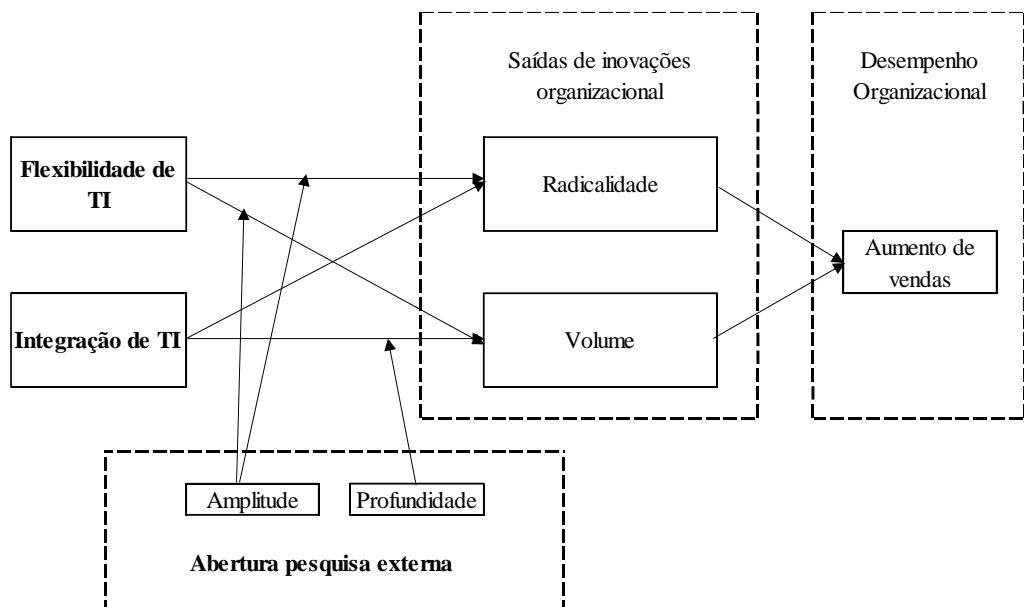


Fonte: Baseado em Schlosser *et al.* (2015)

Cui *et al.* (2015) tratam do alinhamento estratégico considerando a inovação aberta, conforme Figura 13. Ratificam que o alinhamento estratégico resulta em desempenho organizacional superior (Silva *et al.*, 2020) e destacam dois tipos de inovações abertas estudadas: Radicalidade, com referência a novos produtos ou serviços lançados e, Volume, levando em conta a quantidade de novos produtos lançados (Cui *et al.*, 2015). Ambos os tipos de inovações são resultados da pesquisa realizada no mercado pela área de TI.

Os autores concluíram que o alinhamento aprimora o desempenho da inovação aberta e por consequência, o resultado organizacional. Adicionalmente, destacam que a abertura de pesquisa externa realizada pela área de TI, associada a uma cultura de flexibilidade para mudanças e projetos de inovação, contribui para a inovação, assim como para a quantidade de produtos inovadores (Radicalidade). Não identificaram que a Integração da área de TI com as áreas de negócios possa influenciar positivamente tanto a Radicalidade quanto a Inovação, apesar da importância na quantidade de novos produtos (Volume). Uma explicação para esse comportamento recai em restringir a capacidade de acessar novas tecnologias e novas ideias quando as áreas de negócio e TI estão dedicadas apenas à integração, com pouca interação ao meio externo para conhecer tecnologias disruptivas (Cui *et al.*, 2015).

Figura 13 - Modelo de Alinhamento com inovação aberta

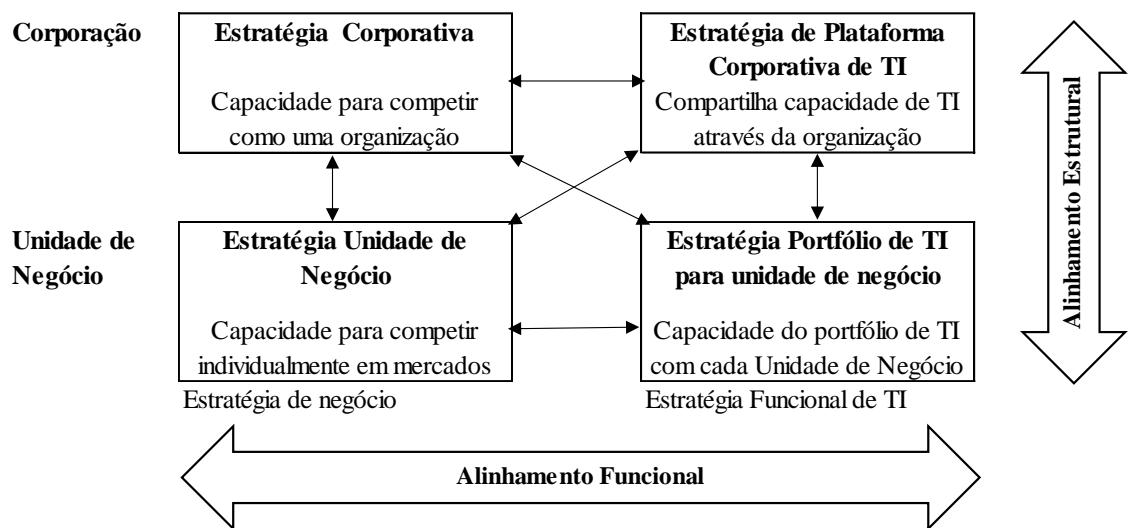


Fonte: Baseado em Cui *et al.* (2015)

Reynolds e Yetton (2015) apresentam modelo de alinhamento estratégico para organizações com diversos negócios (ver Figura 14). Também tendo como base o modelo de Henderson e Venkatraman (1993), partem da premissa de que o alinhamento contribui para o desempenho organizacional e que, diferente de outros modelos, nos quais se focam de forma direta ou indireta em um único negócio, propõem que cada unidade de negócio tenha sua estratégia a ser considerada pela área de TI da unidade de negócio.

A estratégia da unidade, na vez dela, é desmembrada da estratégia corporativa. O papel da estratégia de plataforma corporativa de TI é garantir que questões como competência, governança, alocação de recursos e indicadores, sejam padronizadas, tendo cada TI das unidades de negócio o papel de responder pelas e para as mudanças e capturar novas oportunidades de seu mercado.

Figura 14 - Modelo de Alinhamento em Organizações em multinegócios



Fonte: Baseado em Reynolds e Yetton (2015)

No Quadro 4, estão relacionados os onze modelos de alinhamento estratégico aqui tratados, comparando suas principais aplicações ou objetivos e pontos considerados como positivos e fragilidades.

Quadro 4 - Resumo dos Modelos de Alinhamentos

Modelo de Alinhamento Estratégico	Descrição	Considerações Positivas	Pontos Falhos
McFarlan (1984).	Categoriza as organizações de acordo com a aplicação de TI: Suporte, Fábrica, Transição e Estratégica.	Identifica quatro tipos de organizações com base nas iniciativas de aplicações de TI.	Não considera que uma mesma organização possa ter intensidades diferentes de aplicações de TI, como por exemplo, ter ações que a categorizam entre Fábrica e Transição

Henderson e Venkatraman (1993).	Tem como princípio a integração entre negócios e TI.	Permite combinações de estratégias empresariais, integrações funcionais e estruturais.	Ser conceitual e não considerar a capacidade e a habilidade da organização em atingir o alinhamento.
Reich e Benbasat (1996).	Pondera que planos estratégicos de negócio e TI são produtos da integração.	Considera questões de organização (Intelectual) e relacionais (Social) para o alinhamento.	Adota um único caminho para o alinhamento, sem relevar diferenças organizacionais.
Teo e King (1997).	Estabelece uma trilha, com níveis distintos de integração.	Considera um padrão evolutivo tanto no nível de integração quanto no de tempo escalar.	Não considera a possibilidade de a organização mudar de cenários ou mercados.
Luftman (2000).	Considera grau de maturidade para avaliar a capacidade de alinhamento estratégico.	Considera também o alinhamento como um processo evolutivo e dinâmico.	Apesar de estabelecer critérios para classificar tipos de maturidade, não aborda casos em que há resultados diferentes nos critérios em um mesmo nível de maturidade.
Brodbeck e Hoppen (2003).	Modelo tridimensional, pontuando a questão do tempo como importante na análise do alinhamento estratégico.	Considera dois ciclos: o primeiro na relação entre estratégia de negócio e estratégia de TI; o segundo no aprimoramento contínuo do alinhamento ao longo do tempo.	Não considera como o desempenho pode mudar a formulação da estratégia de negócios ou de TI, assim como não aborda como é avaliada a implementação dos planos.

Kearns e Sabherwal (2006).	A eficácia do alinhamento é dimensionada pela capacidade de implementação de projetos de TI para resolver problemas de negócios.	Valoriza a participação conjunta de TI e negócio na elaboração de planos.	Sugere que a falta de alinhamento estratégico é limitada a resultado de problemas encontrados pelo negócio e ainda não resolvidos pela área de TI.
Joia e Souza (2009).	Modelo conceitual com abordagem tanto da área de negócio como de TI no planejamento.	Pontua a necessidade de atrelar os planos com desempenho organizacional e da efetividade de TI.	Não explica como a efetividade de TI poderá contribuir com o desempenho organizacional.
Schlosser <i>et al.</i> (2015).	Mecanismos formais e informais contribuem para o alinhamento estratégico.	Considera o relacionamento social entre negócio e TI para criação de alinhamento.	Modelo prescritivo, sem considerar diferenças entre as organizações e os níveis de integração.
Cui <i>et al.</i> (2015).	Atrela alinhamento estratégico para resultado superior na inovação aberta.	Traz indicadores de inovação aberta para consideração no alinhamento estratégico.	Considera que a área de TI é responsável pela inovação, sem tratar inovações oriundas da área de negócio.
Reynolds e Yelton (2015).	Considera o alinhamento estratégico em empresas de multinegócios.	Avalia o alinhamento estratégico em grandes corporações com multimercados atendidos por unidades de negócio.	Apresenta a área de TI reativa no alinhamento, sempre dependente das definições e demandas corporativas.

Fonte: O Autor

Os onze modelos aqui apresentados defendem a integração entre TI e negócio. Alguns modelos consideram o negócio pela responsabilidade de capitanear a estratégia (Kearns e Sabherwal, 2006; McFarlan, 1984; Reynolds e Yetton, 2015; Schlosser *et al.*, 2015; Teo e King, 1997). Outros modelos consideram como a iniciativa da estratégia pode ser tanto de TI como de negócio (Brodbeck e Hoppen, 2003; Henderson e Venkatraman, 1993; Joia e Souza, 2009; Kearns e Sabherwal, 2006; Luftman, 2000; Reich e Benbasat, 1996).

Mesmo com vários modelos de alinhamentos e a confirmação na literatura de que o alinhamento estratégico influencia em resultados superiores (Henderson e Venkatraman, 1993; Luftman, Lyytinen e Zvi, 2017; Reynolds e Yetton, 2015; Schlosser *et al.*, 2015), ainda assim é questionável a aplicação dos modelos de alinhamento. Uma justificativa está em ser conceitual, não refletir a realidade (Karpovsky e Galliers, 2015). Em defesa das questões de aplicabilidade, as iniciativas de implementações de TI para atingir o alinhamento dependem de fatores dinâmicos (Amarilli, Van Den Hooff e Van Vliet, 2023) e da capacidade de articulação das partes interessadas (Schlosser *et al.*, 2015).

O alinhamento estratégico é inviável se a estratégia organizacional não é clara ou não entendida pelas áreas (Karpovsky e Galliers, 2015), ou ainda quando a liderança não dirige o processo de integração (Kearns e Sabherwal, 2006). Para Karpovsky e Galliers (2015) a efetividade macro do alinhamento ocorre ao se atuar em práticas de escala micro na organização, isto é, atuar em práticas rotineiras. A alta direção deve ser o articulador deste processo.

### 3 METODOLOGIA

Este projeto de Pesquisa segue o método hipotético-dedutivo em que, formulado o modelo teórico, pretende-se a refutação ou a corroboração do modelo proposto (Prodanov e Freitas, de, 2013). Para tanto, compõem a tese três artigos com métodos e natureza de pesquisa distintas. O uso de artigos para compor a tese é usual em cursos de doutorados em países como Austrália, Nova Zelândia, Inglaterra, Estados Unidos, Noruega, República Tcheca e Suécia (Mason e Merga, 2018). Um problema comum do uso de artigos como parte de uma tese, ou tese composta de artigos, recai na janela de tempo de a publicação dos artigos em periódicos ser geralmente superior ao tempo de entrega da tese (Nethsinghe e Southcott, 2015). A tese em formato de artigo, ou em inglês *Thesis by Publication*, tem como principal vantagem a possibilidade da construção de pesquisa em progressão de uma linha lógica de investigação metodológica, sendo avaliada a cada artigo publicado em periódico (Solli e Nygaard, 2022).

Os métodos escolhidos de investigação aplicados nos artigos desta tese são: (1) Revisão Sistemática da Literatura; (2) Estudo de Caso; (3) Delphi. Quanto à natureza, são utilizadas duas linhas de pesquisa: (1) Exploratória; (2) Qualitativa. A estrutura metodológica da tese com os três artigos foi projetada com o intuito de responder à Questão de Pesquisa: Como um modelo explicativo poderá relacionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 e a estratégia de empresas de manufatura? E mais: como atender ao objetivo geral e aos três objetivos específicos apresentados a seguir:

Objetivo Geral de Pesquisa: Desenvolver um modelo explicativo, baseado no modelo de Henderson e Venkatraman, que relate as tecnologias habilitadoras da I4.0 ao alinhamento estratégico das organizações de manufatura.

Objetivo Específico I: Analisar as implicações do alinhamento estratégico na implementação de tecnologias I4.0 e avaliar criticamente os conceitos e limitações da I5.0 na obtenção de um alinhamento estratégico eficaz.

O Objetivo Específico II: Verificar a aplicação da transformação tecnológica do modelo de alinhamento estratégico entre TI e negócios desenvolvido por Henderson e Venkatraman por empresas que adotam tecnologias habilitadoras da I4.0.

Objetivo Específico III: Apresentar um modelo que suporte a tipificação do alinhamento estratégico, considerando as tecnologias emergentes da I4.0.

A composição deste trabalho está estruturada de forma que a cada objetivo específico esteja atrelado a um artigo, conforme o disposto no Quadro 5.

Quadro 5 - Objetivos Específicos x Artigos produzidos

Objetivos específicos da tese	Número do artigo	Título do artigo	Resumo do artigo
I	1	<i>Towards Strategic Alignment in Industry 4.0 and 5.0: A Systematic Review, Taxonomy, and Exploration of Research Opportunities.</i>	É artigo submetido ao <i>Technology Analysis &amp; Strategic Management</i> . Ele analisa a influência da I4.0 e da I5.0 e como esse contexto é influenciado pela estratégia da organização através de uma revisão sistemática da literatura de 97 artigos. Ele propõe modelo conceitual que aborda as linhas de pensamentos identificados na literatura, assim como desafios e visões opostas sobre alinhamento.
II	2	<i>Strategic Alignment and Industry 4.0: An Exploratory study with Eleven Companies.</i>	É estudo de caso de natureza exploratória de onze empresas localizadas no Estado de São Paulo. Ele trata da aplicação do modelo de alinhamento de Henderson e Venkatraman. Os respondentes de uma pesquisa estruturada avaliaram assertivas sobre conceitos postulados pela Perspectiva 2, Transformação Tecnológica, em que, quanto maior a pontuação, maior a aderência a essa perspectiva. Todas as empresas analisadas tinham característica da perspectiva, em maior ou menor grau. O artigo foi submetido, aprovado e apresentado na APMS 2022.
III	3	<i>Strategic Alignment and Industry 4.0: an Explanatory Model.</i>	Apresenta e avalia um modelo explicativo de alinhamento que considera as novas tecnologias habilitadoras da I4.0. O método Delphi foi escolhido para aplicação. Contou com a avaliação de 8 painelistas – 4 deles acadêmicos; 4, praticantes. O artigo foi submetido ao <i>The Journal of Strategic Information Systems</i> .

Fonte: O Autor

No próximo capítulo, Resultados, são apresentados os artigos desenvolvidos. A seguir são dispostos brevemente os métodos de investigação utilizados neste projeto de pesquisa.

### 3.1. Revisão sistemática da literatura

Também chamando de SLR (*Systematic Literature Review*), é um método utilizado para aprofundar um tema na literatura (Bryman e Bell, 2007). A SLR é composta de três etapas (Tranfield, Denyer e Smart, 2003): (1) Planejamento da pesquisa; (2) Condução da revisão; (3) Relatório da revisão. Essas etapas garantem rigor, transparência e replicabilidade da pesquisa (Rousseau, Manning e Denyer, 2008).

A SLR foi utilizada como método científico na produção do Artigo 1, artigo esse que atende ao objetivo específico I do projeto de pesquisa,

### **3.2. Estudo de Caso**

O estudo de caso é uma pesquisa que concentra a investigação em um caso ou situação particular, seja ela uma organização, um evento ou um fenômeno específico (Yin, 2001). Permite ao pesquisador explorar a complexidade e a dinâmica de um fenômeno em seu contexto natural, utilizando uma variedade de técnicas de coleta de dados, como entrevistas, observação participante, análise de documentos e registros, entre outras técnicas (Eisenhardt, 1999). A aplicação de estudo de caso foi utilizada na produção do Artigo 2, atendendo ao objetivo específico II. A natureza de pesquisa para o Artigo 2 é exploratória.

O método de estudo de caso destaca-se como pesquisas de natureza qualitativa (Yin, 2001), assim como ser de natureza exploratória (Akkermans e Vos, 2003; Rymaszewska, Helo e Gunasekaran, 2017; Toledo e Shiashi, 2009). Pesquisa exploratória tem como objetivos analisar, investigar e examinar o objeto de pesquisa (Stebbins, 2001). Aplica-se esse método quando há incertezas de alta ordem de complexidade, como ocorre normalmente em ciências sociais. É pretendido assim testar uma ou mais teorias (Somekh e Lewin, 2005). Um questionário estruturado ou semiestruturado é comumente a ferramenta de coleta de dados. A sua elaboração deve levar em consideração uma prévia pesquisa na literatura e uma análise dos resultados à luz da teoria (Bryman e Bell, 2007).

### **3.3. Delphi**

O método Delphi tem como característica a previsão e o auxílio na tomada de decisões com base na opinião de especialistas (Landeta, 2006). O método é composto por (1) Aplicação de questionário formal, com respostas anônimas, para os painelistas convidados; (2) Interações com o grupo respondente no objetivo de buscar consenso; (3) Análise com base estatística sobre os resultados conseguidos (Dalkey, 1969).

O método Delphi é previsto como método de pesquisa, e os seus resultados estão associados ao Artigo 3, atendendo assim ao objetivo específico III.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os três artigos que compõem a tese. O primeiro artigo foi submetido à *Technology Analysis & Strategic Management*. O segundo foi submetido, aprovado e apresentado em congresso APMS (*Advances in Production Management Systems*) 2022. O terceiro foi submetido ao *The Journal of Strategic Information Systems*.

### 4.1. Artigo 1

O Quadro 6 apresenta em síntese as informações gerais do Artigo 1.

Quadro 6 - Síntese do Artigo 1

Título	<i>A Systematic Review of Strategic Approach in Industry 4.0 and Industry 5.0: taxonomy and research opportunities.</i>
Objetivo do artigo	Explorar o estado da arte na literatura sobre I4.0, I5.0 e estratégia. Pesquisa realizada a partir de uma revisão sistemática de 97 artigos.
Objetivo específico da tese - I	Analizar as implicações do alinhamento estratégico na implementação de tecnologias I4.0 e avaliar criticamente os conceitos e limitações da I5.0 na obtenção de um alinhamento estratégico eficaz.
Metodologia	SLR.
Principais Resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É crescente a quantidade de publicações ano a ano sobre I4.0 e estratégia, o que demonstra a importância do fenômeno pesquisado,</li> <li>- A adoção simples e pura das novas tecnologias da I4.0 não é suficiente para atingir desempenho superior; a adoção deve estar atrelada ao alinhamento estratégico para atingir êxito.</li> <li>- A I5.0 surge para considerar a implantação das tecnologias habilitadoras da I4.0, mas com foco holístico, considerando também o ser humano como agente de mudança. Sobre o foco holístico a I4.0 não apresenta ênfase.</li> </ul>
Principais Contribuições	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A classificação em linhas de pensamentos da evolução da I4.0 e I5.0 no que diz respeito ao alinhamento estratégico.</li> <li>- Crítica sobre as divergências encontradas na amostra estudada sobre o alinhamento estratégico com I4.0 e I5.0.</li> </ul>
Local da publicação	Submetido ao Periódico <i>Technology Analysis &amp; Strategic Management</i> .

Fonte: O Autor

Com o Artigo 1, foi possível explorar o estado da arte na literatura sobre I4.0, I5.0 e estratégia, derivando para a análise sobre alinhamento estratégico. O tema I4.0 (apesar de sua primeira menção ter ocorrido em 2011 (Meyer, 2019), portanto em prazo superior a dez anos) ainda gera dúvidas no que tange a ser possível com ele extrair valor ao negócio, e o fato revela a sua importância ainda como tema de estudo. Com a ascensão da I5.0 em uma visão holística, é identificada no artigo a tentativa de orientar as tecnologias emergentes para sustentabilidade e centrada no humano. A pesquisa foi realizada com a seleção de 5129 artigos nas bases Scopus e Web of Science (WoS).

A seguir, é apresentado um resumo do artigo, com os tópicos Contextualização, Metodologia, Resultados e Discussões e, Considerações Finais. A íntegra do artigo submetido encontra-se no Apêndice A.

#### 4.1.1. Contextualização

A quarta Revolução Industrial estabelece uma nova onda de inovações com impacto socioeconômico. Ela (a I4.0) contribui com a transformação tecnológica da manufatura. Portanto, a transformação tecnológica permeia as estratégias de manufatura para responder às estratégias de negócios. A consequência direta disso é que as tecnologias emergentes têm influenciado organizações para alterações de processos, infraestrutura, estrutura organizacional e modelo de negócios.

Organizações que obtêm o alinhamento entre estratégias de negócios e TI auferem desempenho superiores, o que possibilita maior chance de capturar valor.

Como desdobramento dessa introdução, foi possível formular as questões de pesquisas em destaque e respondidas no artigo:

QP1 – Como é alcançado o alinhamento estratégico na adoção das tecnologias I4.0 e I5.0 e quais são as principais publicações de pesquisa?

QP2 – O surgimento da I5.0 trouxe avanços no campo estratégico?

#### 4.1.2. Metodologia

A abordagem por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (SLR) permite a análise longitudinal de estudos sobre os temas Estratégia e I4.0 que são os constructos da pesquisa. A metodologia adotada compreende três etapas principais: (1) Planejamento da pesquisa; (2) Condução da revisão; (3) Relato da revisão.

Na etapa de planejamento, foi definida a string de busca: “Industry 4.0” AND Strateg\* OR “Industry 5.0” AND Strateg\*. As bases de dados consultadas foram Scopus e Web of Science (WoS). Inicialmente, foram coletados 5129 artigos científicos. Nesta fase, adotaram-se critérios de seleção que incluíram a eliminação de artigos não redigidos em inglês e aqueles que não se enquadram nas áreas de interesse: *smart factory*, modelos de negócios, inovação, frameworks de I4.0, modelos de implementação, estratégia, valor associado à I4.0, barreiras de implementação e I5.0. Após a aplicação desses critérios, restaram 1277 artigos.

Na etapa seguinte, iniciou-se a análise dos títulos e resumos dos artigos, com a exclusão daqueles que não eram pertinentes à pesquisa ou eram duplicados, resultando em 97 artigos. Todos esses artigos foram lidos e analisados na relação de sua conexão com I4.0 e estratégia, bem com a I5.0 e estratégia. Esta fase completou a etapa de condução da revisão.

Os 97 artigos selecionados foram publicados entre 2019 e 2023, mostrando uma distribuição crescente ao longo dos anos, o que indica um aumento no interesse pelo tema. Em 64 revistas diferentes, dez dessas concentram 37 artigos, conforme apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 - Relação de Revistas e Quantidade de Artigos por Ano

<b>Nome do Journal</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>Total</b>
Sustainability	2		2	4	8	
Journal of Manufacturing Technology Management	1	3	1			5
International Journal of Production Economics	4					4
Journal of Cleaner Production		1	1	2		4
Journal of Manufacturing Systems	1	3				4
Business Strategy and the Environment			1	2		3
Technological Forecasting Social Change	1		1	1		3
Applied Sciences	1		1			2
Benchmarking-an International Journal				2		2
Computers and Industrial Engineering				2		2
54 outros journals	8	6	12	17	17	60
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>97</b>

Fonte: Adaptado do Artigo 1

Foi identificada uma grande dispersão de áreas das Revistas, incluindo periódicos de manufatura, automação, computação e informática, economia, inovação e sustentabilidade. Isto corrobora que estratégia e I4.0 e I5.0 são relevantes para diferentes áreas da ciência.

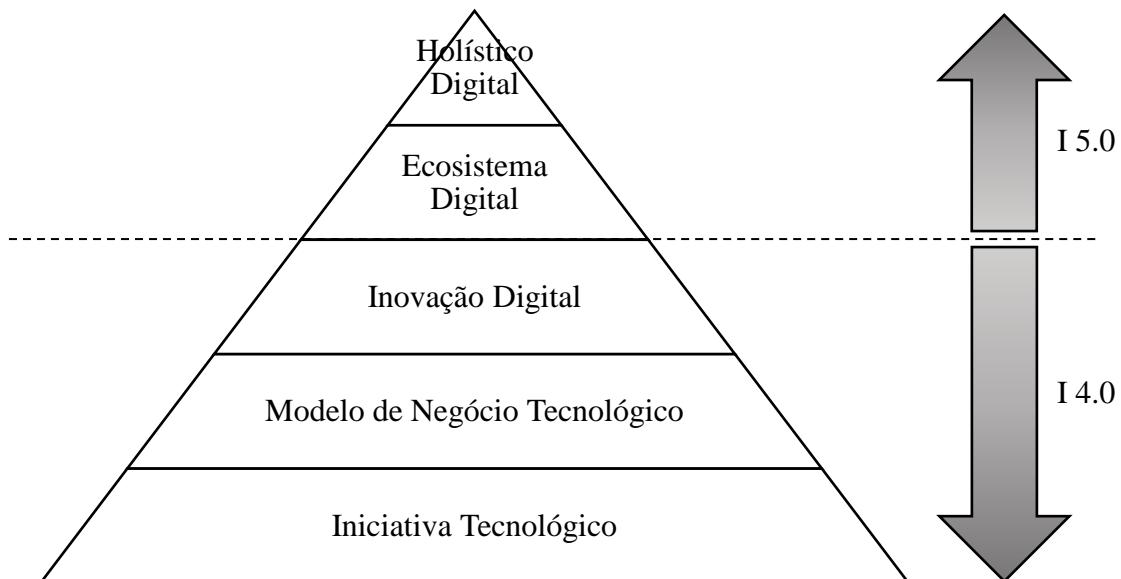
#### 4.1.3. Resultados e Discussões

Foram classificadas cinco linhas de pensamentos de como a estratégia organizacional afeta ou é afetada pelas tecnologias habilitadoras da I4.0 e da I5.0: Iniciativa Tecnológico, Modelo de Negócio Tecnológico, Inovação Digital, Ecossistema Digital e Holística Digital. As cinco linhas de pensamentos são representadas na Figura 15.

Dos achados da pesquisa realizada foi possível elaborar um modelo conceitual que considera as ondas de pensamentos identificadas na amostra sobre alinhamento estratégico e tecnologias emergentes da I4.0 e I5.0, conforme apresentado na Figura 15

Figura 15 - Modelo Conceitual de ondas de pensamentos sobre

Alinhamento Estratégico e I4.0



Fonte: Adaptado do Artigo 1

As frentes de pensamentos do referido modelo conceitual são definidas à luz da teoria, conforme é apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Resumo Teórico do Modelo Conceitual de Frentes de Pensamento em Alinhamento Estratégico e I4.0 e I5.0

Foco	Síntese	Referência
Holístico Digital	A quinta frente destaca, com a I5.0, a necessidade de considerar a sustentabilidade e a responsabilidade social. Ou seja, aplicação da fabricação verde, da reciclagem, da remanufatura e do design verde.	(Amjad <i>et al.</i> , 2024; Tang <i>et al.</i> , 2022)
Ecossistema Digital	O alinhamento envolve o estabelecimento de parcerias estratégicas com outras empresas para criar soluções inovadoras de forma colaborativa e desenvolver novos mercados.	(Aslam <i>et al.</i> , 2020; Rocha <i>et al.</i> , 2022)
Inovação Digital	As empresas que avançaram nessa frente identificada obtiveram ganhos não apenas no desenvolvimento de novos produtos; também incorporaram uma estratégia de inovação focada em eficiência e novidade.	(Muller, Buliga e Voigt, 2021)
Modelo de Negócio Tecnológico	A segunda frente de pensamento caracteriza-se não apenas pela adoção de novas tecnologias, mas ainda por influenciar o desenvolvimento de novos modelos de negócios, de processos operacionais e de interação com clientes e fornecedores para aprimorar as capacidades da I4.0.	(Alao e Gbolagade, 2019; Ko <i>et al.</i> , 2020; Parhi, Joshi e Akarte, 2021; Zant, El <i>et al.</i> , 2021)
Iniciativa Tecnológica	Nesta fase, o alinhamento estratégico está centrado na integração de novas tecnologias às operações existentes com o objetivo principal de buscar eficiência e redução de custos.	(Chauhan, Singh e Luthra, 2021; Fathi e Ghobakhloo, 2020; Porter, 2008)

Fonte: Adaptado do Artigo 1

#### 4.1.4. Considerações finais

Com base nos achados da SRL, foi possível listar cinco principais contribuições exploradas no artigo:

1. Esclarecimento do impacto da I4.0 e da I5.0 na estratégia organizacional por meio de uma revisão sistemática.

2. Realização de uma análise conceitual sobre a relação entre o alinhamento estratégico e a I4.0 ou I5.0, incorporando conceitos tanto da literatura estabelecida quanto de avanços contemporâneos.

3. Apresentação de um quadro conceitual (Figura 16) para elucidar o alinhamento estratégico nos contextos da I4.0 e da I5.0.

4. Abordagem de aspectos divergentes do alinhamento nos contextos da I4.0 e da I5.0.

5. Exame dos desafios identificados na literatura acadêmica relativos ao alinhamento estratégico nos contextos da I4.0 e da I5.0.

O Artigo 1 é apresentado em seu inteiro teor no Apêndice A.

#### 4.2. Artigo 2

O Artigo 2 é um estudo exploratório com onze empresas localizadas no estado de São Paulo com análise da aderência à perspectiva dois, Transformação Tecnológica, do modelo de alinhamento estratégico de Henderson e Venkatraman (1993). Esse artigo atende ao Objetivo Específico II. Foi submetido, aprovado e apresentado na *Advances in Production Management Systems. IFIP WG 5.7. International Conference, APMS Gyeongju, Korea, September 25, 2022 – September 29, 2022 Proceedings, Part I* [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16407-1\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16407-1_10). Uma síntese do Artigo 2 é apresentada no Quadro 9. Logo após, os tópicos Contextualização, Metodologia e Considerações finais pretendem resumir o artigo. O Artigo 2 é apresentado, conforme publicado, no Apêndice B.

Quadro 9 - Síntese do Artigo 2

Título	<i>Strategic Alignment and Industry 4.0: An Exploratory Study with Eleven Companies.</i>
Objetivo do artigo	Analisar como onze empresas localizadas no estado de São Paulo são tipificadas no modelo de Henderson e Venkatraman, perspectiva 2 - Transformação Tecnológica.
Objetivo específico da tese - II	Verificar a aplicação da transformação tecnológica do modelo de alinhamento estratégico entre TI e negócios, desenvolvido por Henderson e Venkatraman em companhias que adotam tecnologias habilitadoras da I4.0.
Metodologia	Estudo de caso de natureza exploratória.
Principais Resultados	Foi identificada aderência à perspectiva 2 do modelo de Henderson e Venkatraman, com as tecnologias inovadoras da I4.0, implementadas por essas empresas. As empresas tiveram pontuação total em extremos, em decorrência de níveis diferentes de aplicação de novas tecnologias, justificando a dispersão na pontuação.
Principais Contribuições	A aderência à perspectiva Transformação Tecnológica para as 11 empresas entrevistadas demonstra que essas empresas mantiveram sua estratégia de negócio e usaram a tecnologia para buscar melhor desempenho operacional. O uso da I4.0 para apenas aumento no desempenho operacional não é uma vantagem competitiva, pois o modelo de investimento de tecnologias emergentes pode ser copiado por outros concorrentes.
Local da publicação	APMS 2022

Fonte: O Autor

#### 4.2.1. Contextualização

A I4.0 traz benefícios em processos e produção, mas, na mesma esteira dos aspectos positivos, há vários riscos envolvidos na sua implementação. E dentro desse leque de riscos, um importante campo é a falta de aderência com a estratégia corporativa, isto é, ausência de alinhamento. O alinhamento estratégico é o resultado da integração entre a estratégia de negócio e as ações da área de TI e entre a estratégia de TI e atividades da área de negócio, como propõe o artigo seminal de Henderson e Venkatraman (1993).

O objetivo do Artigo 2 é verificar a aplicação da perspectiva 2 do modelo, transformação tecnológica, em onze empresas que implantaram em maior e menor grau as tecnologias inovadoras da I4.0, empresas essas localizadas no estado de São Paulo, atuantes em diversos mercados.

#### 4.2.2. Metodologia

Estudo de caso de natureza exploratória, a questão de pesquisa é “como empresas que aplicam as tecnologias emergentes da I4.0 estão posicionadas na perspectiva Transformação Tecnológica de Henderson e Venkatraman”? Inicialmente, foi realizado levantamento na literatura para construção da base teórica, o que permitiu formular o questionário aplicado aos funcionários em cargo de decisão das onze empresas. Os dados foram coletados entre maio e junho de 2021. A escolha dos respondentes foi por conveniência. O questionário tem 14 assertivas sobre características da perspectiva 2 com base no estudo teórico; cada assertiva usa uma escala Likert de 1 a 5 para escolha do respondente; 1 indica que o respondente discorda totalmente sobre a assertiva e 5, que concorda totalmente. O questionário foi desenvolvido em plataforma *web* e quanto maior a sua soma total da pontuação, maior a confirmação da aderência a da perspectiva de Transformação Tecnológica. No Quadro 10, são apresentadas as assertivas do formulário.

Quadro 10 - Assertivas sobre a Aderência da Perspectiva Transformação Tecnológica

#	<b>Na empresa em que eu trabalho:</b>
---	---------------------------------------

1	Há confiança em suas tecnologias para apoiar as tomadas de decisão e se age, com base nas tecnologias implementadas, de maneira preventiva.
2	Consegue-se captar dados em todos os seus processos operacionais e organizá-los a fim de tirar valor deles.
3	Há células autônomas, ou seja, de atuação independente, em toda a operação fabril.
4	Há digitalização de atividade que auxilia a gestão.
5	Há integração vertical (compartilhamento de informações do chão de fábrica até os executivos da empresa) e integração horizontal (conexão entre todos os setores da cadeia de produção).
6	Todos os responsáveis que lidam com tecnologias da I4.0 implementadas têm conhecimento e habilidades para exercer essa função.
7	Há capacidade de planejar proativamente ocorrências futuras como resultado das tecnologias da I4.0 implementadas.
8	Adaptaram-se em toda área fabril a estrutura e o <i>layout</i> para receber as tecnologias da I4.0.
9	Há altos níveis de padronização nos processos e produtos, seguindo normas e especificações.
10	Há sistemas integrados em toda unidade fabril, sistemas que permitem o compartilhamento das informações de dados do chão de fábrica com os níveis operacionais e executivo.
11	Há tecnologias como <i>Big Data Analytics</i> , CPS, IoT e <i>Artificial Intelligence</i> em todos os seus processos fabris.
12	Há sistema de gestão de todos os elos logísticos, desde os dados de fornecedores, de estoque, até vendas.
13	Há sistemas capazes de acumular conhecimento e tomar decisões de forma autônoma, realizando análises dos resultados acumulados nas operações fabris.
14	Há sistemas capazes de acumular conhecimento e tomar decisões de forma semiautônoma (com intervenção humana), realizando análises dos resultados acumulados nas operações fabris.

Fonte: Adaptado de Oliveira, Gonçalves e Laurindo (2022)

Os executivos das empresas respondentes ocupam cargos de tomada de decisão e foram compilados os dados no Quadro 11, como tipo de indústria, número de funcionários e faturamento anual. Pode-se concluir que são em maioria empresas grandes e segmentos de negócios distintos, mas todos contam com parque industrial próprio.

Quadro 11 - Tipificação das Empresas Respondentes

	Negócio da Empresa	Faixa de empregados	Faturamento Annual
Empresa 1	Metalúrgica	10 a 49	Entre R\$360 mil e R\$4,8 milhões
Empresa 2	Eletrônicos	50 a 249	Maior que R\$300 milhões
Empresa 3	Cosméticos	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões
Empresa 4	Química	0 a 9	Entre R\$360 mil e R\$4,8 milhões
Empresa 5	Metalúrgica	50 a 249	Entre R\$360 mil e R\$4,8 milhões
Empresa 6	Metalúrgica	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões

Empresa 7	Siderurgia	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões
Empresa 8	Mineração	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões
Empresa 9	Metalúrgica	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões
Empresa 10	Cosmético	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões
Empresa 11	Automobilística	250 ou mais	Maior que R\$300 milhões

Fonte: Adaptado de Oliveira, Gonçalves e Laurindo (2022)

Os respondentes possuem no mínimo nível superior, com ao menos 4 anos no cargo. No Quadro 12, são apresentados os resultados da soma dos pontos colhidos dos questionários por empresa. Cada empresa teve um respondente. A pontuação máxima possível é 70, caso da empresa 7, e o mínimo é 14, situação apenas possível se o respondente optasse por 1 (discordo totalmente) para todas as assertivas.

Quadro 12 - Soma de Pontos das 11 Empresas Pesquisadas

Empresa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Soma	44	51	42	42	42	66	70	33	42	59	58

Fonte: Adaptado de Oliveira, Gonçalves e Laurindo (2022)

#### 4.2.3. Resultados e Discussões

As empresas 7 e 8 atingiram pontuações extremas. Isto tendencia a diferenças em relação do uso de novas tecnologias habilitadoras da I4.0, e, de fato, a situação foi observada em entrevista com os respondentes. A empresa 7 tem investido mais intensamente em novas tecnologias para competir no mercado de Siderurgia. Já a empresa 8, atuante no mercado de Mineração, apresenta investimentos pontuais em tecnologias inovadoras da I4.0, mas, apesar de não confirmar que a empresa está na perspectiva de Transformação Tecnológica, pode-se observar que há nela iniciativas nesta direção.

#### 4.2.4. Considerações Finais

Nas onze empresas estudadas, é possível identificar a predominância da perspectiva de transformação tecnológica preconizada por Henderson e Venkatraman. De toda forma, empresas caracterizadas por essa perspectiva tomam como ação o investimento em tecnologias segundo a estratégia de negócio adotada, o que não impede que empresas concorrentes copiem

sua proposta de investimento em tecnologias, ao não agregar diferencial competitivo ao negócio.

No artigo, são apresentadas duas proposições para estudos futuros:

P1. As organizações que aplicam as novas tecnologias I4.0 aderentes às suas estratégias de negócios podem obter um maior retorno sobre o investimento.

P2. A aplicação e a utilização das novas tecnologias incorporadas à I4.0 podem caracterizar as organizações em qualquer uma das quatro perspectivas de alinhamento estratégico, dependendo da forma como foram implementadas.

As duas proposições formuladas têm como princípio o modelo de alinhamento estratégico e, em especial, a P2. Elas abrem caminho para desenvolver um modelo explicativo considerando a I4.0. É apresentado o Artigo 2 no Apêndice B, conforme publicado no congresso.

### 4.3. Artigo 3

O terceiro artigo tem como propósito apresentar e avaliar o modelo explicativo de alinhamento estratégico, considerando as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, para, assim atender o Objetivo Específico III. No Quadro 13 é apresentada uma síntese do Artigo 3 e, no Apêndice C, está uma cópia do artigo.

Quadro 13 - Síntese do Artigo 3

Título	<i>Strategic Alignment and Industry 4.0: an Explanatory Model</i>
Objetivo do artigo	Apresentar e avaliar os componentes de um modelo explicativo de alinhamento que considera as novas tecnologias habilitadoras da I4.0.
Objetivo específico da tese – III	Apresentar um modelo que suporte a tipificação do alinhamento estratégico, considerando as tecnologias emergentes da I4.0.
Metodologia	Método Delphi, natureza exploratória.
Principais Resultados	<p>Apresentação do modelo de alinhamento estratégico com I4.0 que caracteriza as organizações quanto à aplicação das tecnologias habilitadoras da I4.0.</p> <p>Os painelistas apontaram aderência dos componentes (Processos, Sistemas e Estrutura) do modelo na classificação do alinhamento (Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital).</p>
Principais Contribuições	<p>O modelo de alinhamento considera o arranjo e a intensidade dos componentes como determinantes da tipologia de alinhamento.</p> <p>As organizações podem identificar quais ações são necessárias para aplicar tecnologias habilitadoras da I4.0, a partir da escolha de alinhamento de interesse.</p>
Local da submissão	<i>The Journal of Strategic Information Systems.</i>

Fonte: O Autor

Para atender ao objetivo do Artigo 3, em primeiro momento foi desenvolvido um modelo conceitual, como resultado de uma revisão sistemática integrativa. O modelo conceitual serviu de referência para o desenvolvimento do protocolo de pesquisa para avaliar os componentes pelo método Delphi. O resultado da pesquisa permitiu estabelecer o modelo explicativo.

Um *site web* foi desenvolvido com no base do modelo explicativo proposto. O site nomeado de Diagnóstico de Alinhamento Estratégico e I4.0 permite ao respondente identificar qual perspectiva de alinhamento é a mais apropriada para a empresa de interesse. O Relato Técnico relacionado ao site e o registro de software realizado no INPI estão no Apêndice D desta tese.

A seguir, é exposta a estrutura do artigo 3, contendo os itens Contextualização, Metodologia e Considerações.

#### 4.3.1 Contextualização

As novas tecnologias habilitadoras da I4.0 têm habilitado as organizações para atingir níveis de competitividade superior, mas apenas a implantação dessas tecnologias em chão de fábrica não implica resultados diferenciados se não estiver atrelada ao alinhamento estratégico.

O modelo de alinhamento estratégico em suas quatro perspectivas classifica os tipos de alinhamentos (Henderson e Venkatraman, 1993) que devem orientar as decisões de investimento em tecnologia da Informação. O fato é que as perspectivas de Henderson e Venkatraman não foram desenvolvidas para as necessidades de tipificação de uma empresa, em específico uma empresa de manufatura, ao novo contexto oferecido com a ascensão das tecnologias inovadoras da I4.0.

Para contribuir na análise desta lacuna de pesquisa identificada, um modelo conceitual (Figura 16) foi utilizado como referência para a elaboração do modelo explicativo e representa como os componentes (Processos, Sistemas e Estruturas) exercem influência nas perspectivas de alinhamento. A escolha da perspectiva de alinhamento estratégico dominante (Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital), reformulada do modelo de Henderson e Venkatraman (1993), pretende apoiar na tipologia da relação entre I4.0 e a estratégia. No modelo proposto, os cruzamentos entre componentes e perspectivas representam que a intensidade e o arranjo dos componentes determinam a perspectiva relacionada.

Figura 16 - Modelo Conceitual de Alinhamento Estratégico e I4.0

		PERSPECTIVAS			
		Transição Digital	Transformação Digital	Potencial Digital	Processo de Suporte Digital
COMPONENTES					
<b>Processos</b>					
<b>Sistemas</b>					
<b>Estrutura</b>					
		QP 1: Quais são os componentes de uma proposta de modelo de alinhamento estratégico que integra as tecnologias facilitadoras da I4.0? QP 2: Como classificar o alinhamento estratégico e as tecnologias facilitadoras da I4.0 através da combinação e intensidade dos componentes do modelo?			

Fonte: Adaptado do Artigo 3

A tipificação do alinhamento estratégico por componentes também foi considerada por outros autores, como Henderson e Venkatraman (1993), com quatro componentes: Infraestrutura e Processos Organizacionais e, Infraestrutura e Processos de TI. Leidner e Kayworth (2006) avaliam o alinhamento estratégico também com base em quatro componentes: Estratégia, Estrutura Organizacional, Cultura e Infraestrutura de TI. Sabherwal e Chan (2001) propõem um modelo para avaliar o alinhamento estratégico com base também em quatro componentes: Estratégia de Negócios, Estratégia de Sistemas de Informação, Processos Organizacionais e Cultura. Luftman (2000), na sua vez, apresenta um modelo para avaliar o alinhamento estratégico com seis componentes: Comunicação, Governança, Parceria, Habilidade, Escopo e Arquitetura.

A relação das três dimensões utilizadas (Estrutura, Sistemas e Processos) com a I4.0 é descrita a seguir.

A implicação da I4.0 em **Processos** de produção é evidenciado em vários trabalhos, seja na automação pura e simples de atividades, seja no atendimento de pedidos configuráveis/customizados em massa, ou ainda para facilitação da troca de informações (Buchi, Cugno e Castagnoli, 2020; Chiarini, Belvedere e Grando, 2020; Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020; Fakhri *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2019; Ślusarczyk, 2018).

**Sistemas** de informação tornam-se processos conectados que criam uma cadeia de valor baseada em transformação digital (Nosalska *et al.*, 2019). Denota-se assim que a I4.0 tem uma

forte integração de objetos físicos e instalações de produção em redes de informação virtual (Santos *et al.*, 2021), com resultados em qualidade aprimorada, em tempo de resposta reduzido e em otimização geral (Soomro *et al.*, 2021).

Para lidar com as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, é necessário planejamento da estrutura organizacional para suportar as mudanças que não estão restritas ao campo técnico (Črešnar, Potočan e Nedelko, 2020). Empresas em ambientes tecnologicamente turbulentos e ricos em dados, como propõem as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, precisam acompanhar as mudanças rapidamente, refletidas na sua **Estrutura** organizacional em maior ou menor grau, dependendo do nível tecnológico (Kumar e Ramachandran, 2021; Linh, Kumar e Ruan, 2019).

A definição adotada pelo autor para as perspectivas do modelo conceitual é apresentada a seguir. Assim, ele nos diz: quando o foco é conduzido predominantemente por uma perspectiva de **Transição Digital**, o alinhamento estratégico conduz as iniciativas do paradigma I4.0. As novas tecnologias habilitadoras da I4.0 têm o papel de sustentar a estratégia de negócio pontualmente, não explorando a potencialidade das tecnologias inovadoras. Exemplificando, organizações com iniciativas nesse foco são manufaturas que têm projetos, em muitos casos originários de um piloto, de melhorias em etapas de processos específicos, sem necessariamente ter o propósito de integração com outros processos, sistemas ou recursos. Ganhos conseguidos por ações com transição digital não são desprezíveis, mas são específicos e pouco demandam de mudanças de estrutura organizacional para suportar as novas implementações. O comportamento de transição digital é previsto por Grab, Olaru e Gavril (2019).

No foco da **Transformação Digital**, a estratégia organizacional continua definindo a diretriz de iniciativas na determinação de uma estratégia de tecnologia, mesmo que de ordem tácita. Os processos, não mais restrito a etapas de processos, são melhorados para um nível superior com o uso de novas tecnologias habilitadoras da I4.0. As tecnologias emergentes implantadas aperfeiçoam os sistemas de informação em termos de geração, coleta, fluxo, transferência e processamento de dados para suportar tomada de decisões realizadas sobre dados. Já neste foco, a estrutura organizacional sofre ajustes para suportar os processos operacionais. Aplicações da transformação digital são temas de estudo de diversos autores (Chiarini, 2020; Culot *et al.*, 2020; Ghobakhloo, 2020; Mugutkar e Kohir, 2018; Oluyisola, Sgarbossa e Strandhagen, 2020).

Já na perspectiva **Potencial Digital**, proposta em modelo conceitual de alinhamento, a organização opta por explorar o potencial competitivo oferecido pelas novas tecnologias habilitadoras da I4.0. As integrações horizontais e verticais passam a ser o resultado em investimentos de tecnologia, implicando uma estratégia de TI capaz de oferecer direcionamento à estratégia de negócio. Os modelos de implantação da I4.0 (Cordeiro, Ordóñez e Ferro, 2019), maturidade (Geissbauer, Vedso e Schrauf, 2016; Schuh *et al.*, 2020) e prontidão (Agca *et al.*, 2017) vão ao encontro desse foco, pois definem o caminho que a organização deve seguir para explorar competitividade em direção de uma empresa que identifica captura de valor com a I4.0 (Chiarini, Belvedere e Grando, 2020) de ponta a ponta do ciclo de vida do produto (Zheng *et al.*, 2021). Termos como servitização e customização em massa (Chauhan, Singh e Luthra, 2021; Zawadzki e Zywicki, 2016) são explorados com o potencial digital. Nele, o foco é oferecer distinção e exclusividade ao consumidor (Mourtzis *et al.*, 2018). O natural impacto dessa perspectiva é a revisão da estrutura com adoção de novas funções que não existiam antes na organização.

No foco de **Processo de Suporte Digital**, última perspectiva do modelo conceitual, a estratégia de tecnologia não interfere na estratégia organizacional. Ela também preconiza a perspectiva de nível de serviço do modelo de Henderson e Venkatraman (1993). Os esforços são para uma estrutura de tecnologia orientada à melhoria do serviço prestado aos clientes internos. Reduzindo desperdícios de tempo, material e recurso, agilizando processos de produção, com menos interrupções e tornando os processos mais previsíveis quanto aos resultados de forma perene, lançando mão das tecnologias habilitadoras da I4.0 para esses objetivos, diferentes autores (Grab, Olaru e Gavril, 2019; Ko, Kincade e Brown, 2000; Marques *et al.*, 2017) retratam o uso de tecnologia para oferecer nível de serviço aprimorado, em linha com a perspectiva proposta no modelo conceitual tendo as tecnologias inovadoras da I4.0 como direcionadoras.

As perspectivas propostas no modelo teórico não têm prevalência ou prioridade, tal como ocorre no modelo de Henderson e Venkatraman (1993), pois as escolhas devem corresponder à forma como as organizações desejam aplicar as tecnologias emergentes da I4.0. A opção deve ser contingencial, ao depender da dinâmica de competição do mercado em que a empresa está inserida e de sua disponibilidade de recursos, assim como é previsto por Ullah e Lai (2013). Também é provável que a empresa faça a transição para mais de uma perspectiva em um determinado período, mas, mesmo assim, terá uma perspectiva dominante em destaque (Oliveira, Gonçalves e Laurindo, 2022). Em última análise, o que se espera é que uma

organização possa obter retornos acima da média quando desenvolve uma estratégia alinhada em explorar as características das tecnologias I4.0, de forma a contribuir para uma maior eficiência operacional. O Quadro 14 resume como as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 atuam em termos de alinhamento estratégico no modelo proposto.

Quadro 14 - Resumo Teórico Modelo Conceitual de Alinhamento

Foco	Síntese	Referência
Transição Digital	As tecnologias emergentes do I4.0 cumprem o papel de apoiar a estratégia de negócios da organização, com características de aplicação pontual de tecnologias.	Grab, Olaru, e Gavril (2019).
Transformação Digital	A estratégia de negócios impulsiona as iniciativas em tecnologias emergentes de I4.0, com influência direta na estratégia de TI adotada.	Mugutkar e Kohir (2018); Chiarini (2020).
Potencial Digital	A estratégia de TI orienta as escolhas em tecnologias I4.0, como o uso de integração horizontal e vertical para capturar valor em toda a cadeia de suprimentos.	Lee, Padmanabhan, and Whang (1997); Parhi, Joshi, and Akarte (2021).
Processo de Suporte Digital	As tecnologias I4.0 são motivadoras na oferta de serviços aos clientes internos, para reduzir o desperdício, agilizar e tornar os processos produtivos previsíveis.	Chauhan, Singh, e Luthra (2021); Zawadzki e Zywicki (2016).

Fonte: Adaptado do Artigo 3

A partir do modelo conceitual desenvolvido de uma revisão sistemática integral, foi possível desenvolver o modelo explicativo de alinhamento estratégico, considerando as novas tecnologias habilitadoras da I4.0. As questões de pesquisa elaboradas norteadoras do Artigo 3 são:

QP 1: Quais são os componentes de uma proposta de modelo de alinhamento estratégico que integra as tecnologias facilitadoras da I4.0?

QP 2: Como classificar o alinhamento estratégico e as tecnologias facilitadoras da I4.0 através da combinação e intensidade dos componentes do modelo?

#### 4.3.2 Metodologia

O método Delphi foi escolhido para atender o objetivo de pesquisa: elaborar o modelo explicativo proposto de alinhamento estratégico, considerando as novas tecnologias habilitadoras da I4.0. A pesquisa é caracterizada de natureza exploratória. O método Delphi é uma técnica popular de previsão e auxílio na tomada de decisões com base na opinião de especialistas (Landeta, 2006). A aplicação do método é recomendada quando há um problema a ser trabalhado em níveis de incertezas com dados insuficientes, teoria incompleta e alta ordem de complexidade (Pill, 1971). O método Delphi compõe-se de (1) respostas anônimas, em que opiniões dos membros do grupo são obtidos por um questionário formal; (2) interação e feedback controlado, aplicação de um exercício sistemático conduzido por várias interações para obter a opinião dos membros; (3) resposta com base estatística (Dalkey, 1969).

Foram elaboradas 16 questões para os painelistas responderem e com isso, avaliar os componentes de um modelo de alinhamento estratégico. As questões sustentam a análise em aspectos distintos para efetivar o encontrado na literatura e representado em um modelo conceitual orientativo (Figura 16), considerando três componentes: Processos, Sistemas e Estruturas.

A primeira perspectiva do modelo conceitual proposto, Transição Digital, tipifica organizações de manufatura que utilizam as tecnologias inovadoras da I4.0 com foco em melhoria incremental de processos. Apesar de atingir ganhos expressivos em etapas de processos produtivos, com redução de custo operacional aliado à melhoria da qualidade e do ganho de produtividade, a primeira perspectiva traz resultados pontuais e adicionados aos processos, sem que, com isso, a estratégia da organização seja reformulada ou seja necessária a mudança na estrutura organizacional para absorver as tecnologias inovadoras. Para avaliar a presente perspectiva, foram elaboradas para resposta dos painelistas as quatro assertivas do primeiro grupo de questões:

As novas tecnologias habilitadoras da I4.0, conforme apresentado no Quadro 12, podem ser aplicadas por empresas de manufatura:

Q1.1: com resultados pontuais, sem que seja necessária a formulação da estratégia organizacional.

Q1.2: podem ser aplicadas por empresas de manufatura, sem que seja necessária a mudança significativa em processos produtivos em operação.

Q1.3.: sem que seja necessária a integração ou a conexão com sistemas de informação.

Q1.4.: sem que sejam necessárias mudanças na estrutura da organização para suportar e utilizar as novas tecnologias.

A segunda perspectiva tem foco na transformação digital. Portanto, credita-se que as organizações com iniciativas preponderantes nessa perspectiva, apesar da estratégia de negócio ditar o alinhamento, as tecnologias inovadoras da I4.0 apoiam as organizações a lidar com dados a ponto de apoiar na tomada de decisão, deste modo não se restringindo apenas a melhorias pontuais de etapas de processos, mas a processos produtivos completos. Não é necessária a consolidação de uma estrutura organizacional e de um sistema de informação gerencial para suportar as tecnologias implantadas. Isto permite formular o segundo grupo de quatro assertivas:

As novas tecnologias habilitadoras da I4.0, conforme apresentado no Quadro 12, podem ser aplicadas por empresas de manufatura de uma forma mais abrangente em seus processos produtivos:

Q2.1: sem que sejam necessárias mudanças na estratégia organizacional.

Q2.2: sem que fique restrita a melhorias pontuais.

Q2.3: com demanda por sistemas de informação.

Q2.4.: a estrutura organizacional deve ter ajustes de cargos e funções para lidar com as novas tecnologias.

Com foco no potencial digital, a terceira perspectiva objetiva-se a capturar valor para organização por iniciativa de uma estratégia de TI apropriada em que a estratégia de negócio é adaptativa. Neste caso, os processos organizacionais são afetados mais intensamente com as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, por meio das integrações horizontais, das verticais e do projeto do ciclo de vida do produto de ponta a ponta. A oferta de novos produtos com níveis de customização e servitização passa a ser natural nessa perspectiva. Para validar o foco de potencial digital, foi formulado o terceiro grupo de quatro assertivas submetidas aos painelistas:

As novas tecnologias habilitadoras da I4.0:

Q3.1: impactam em mudanças na estratégia da organização, por exemplo para oferta de produtos customizados e com agregação de serviços ao produto.

Q3.2: podem apoiar níveis de flexibilidade maiores na produção do que era possível anteriormente; são necessárias mudanças significativas nos processos produtivos para isso.

Q3.3: podem apoiar níveis de flexibilidade maiores na produção do que era possível anteriormente; são necessários sistemas de informação integrados tanto vertical (com foco na gestão), como horizontal (com comunicação entre máquinas e processos), para suportar essa proposição.

Q3.4.: podem impactar em mudanças na estratégia da organização, mas são necessárias mudanças na estrutura organizacional para essa proposição de valor.

Na perspectiva quatro, com foco em processos digitais, a estratégia organizacional não determina ou sofre influência na estratégia de tecnologia. Ela colhe os resultados de uma organização com processos digitais, proporcionando previsibilidade e estabilidade com melhor nível de serviço prestado aos clientes internos. Organizações de manufatura, que exploram as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 com o propósito de processos digitalizados, são impactadas na estrutura organizacional e no sistema de informação. Desta perspectiva, foi possível formular o quarto grupo de questões aos painelistas:

As novas tecnologias habilitadoras da I4.0 motivam a oferta de serviços aprimorados internamente para a manufatura:

Q4.1: sem que a estratégia organizacional seja reformulada.

Q4.2: reduzindo desperdícios ou apoiando a estabilidade e a previsibilidade de processos.

Q4.3: demandando, para isso, sistemas de informação para apoiar desempenho dos processos internos.

Q4.4: sendo necessárias mudanças da estrutura organizacional para suportar as tecnologias inovadoras.

Para apoiar o planejamento de pesquisa e sua aplicação, foi desenvolvido um protocolo, conforme Quadro 15.

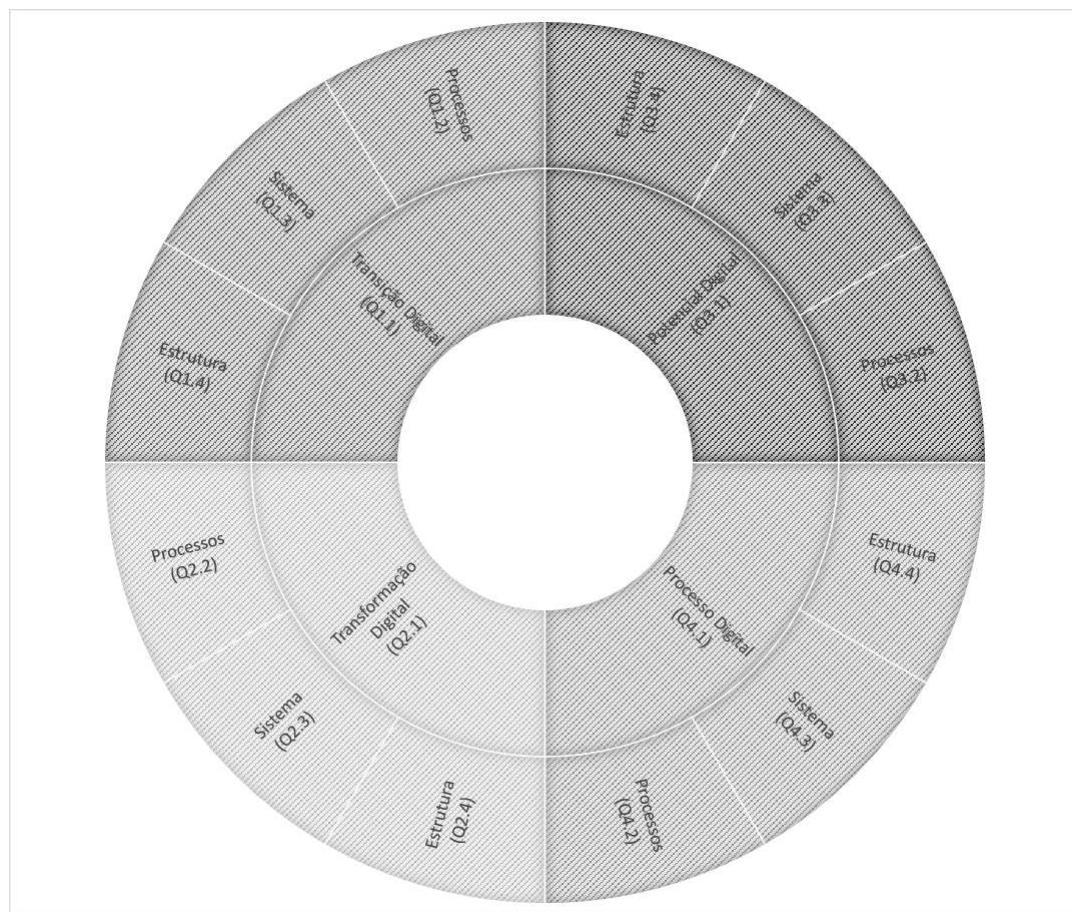
Quadro 15 - Protocolo de pesquisa

Fase	Objetivo
Pré aplicação do método Delphi	<p>Critérios para selecionar os painelistas:</p> <p>Praticantes (no mínimo 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- O mínimo 4 anos de experiência profissional em gestão;</li> <li>- Trabalhando ou tendo trabalhado em empresas com iniciativas de implantação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0;</li> <li>- Trabalhando ou tendo trabalhado em empresas fornecedoras de novas tecnologias habilitadoras da I4.0.</li> </ul> <p>Acadêmicos (no mínimo 4):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Com linha de pesquisa ou de estudo sobre I4.0 há pelo menos 4 anos;</li> <li>- Titulação em mestrado e/ou Doutorado em áreas afins à I4.0.</li> </ul> <p>Realizado o convite aos painelistas, expõem-se as fases da pesquisa.</p>
Questões respondidas pelos painelistas	<p>As questões formuladas foram submetidas e aprovadas pelo CEP – Comissão de Ética e Pesquisa, conforme pode ser visto no Anexo A. Cada uma das dezesseis assertivas atende uma escala Likert de 1 a 5, sendo 1, discordo totalmente e 5, concordo totalmente. Foi disponibilizado aos respondentes um espaço a cada assertiva para justificar-se a sua escolha.</p> <p>Antes de responderem às assertivas, os respondentes receberam um texto contextualizando a I4.0 e uma lista de novas tecnologias embarcadas na I4.0 (adaptado do Quadro 1, página 32)</p>
1ª fase Questionário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratado de forma individual com os painelistas.</li> </ul> <p>Todos os questionários foram <i>online</i> com <i>link</i> enviado por e-mail e com pedido para devolução em até 03 (três) dias úteis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consolidar a lista de todos os painelistas</li> </ul> <p>Foi solicitado aos painelistas respondentes que explicassem a sua pontuação em um ou dois parágrafos, a fim de ajudar no entendimento da escolha.</p> <p>Após recebidas as respostas dos especialistas em cada rodada, foram analisadas as respostas e sumarizadas em um relatório que contém: levantamento da estatística descritiva (média, mediana e desvio padrão, interquatis), percentual de concordância para cada assertiva, percentual calculado como quantidade de notas 4 e 5 atribuídas para cada assertiva em relação ao total de painelistas respondentes e o índice de Cronbach, para medir a confiabilidade do instrumento de medição.</p> <p>Foi adotado como referência de aceitação Índice Cronbach maior ou igual a 0,7.</p>
2ª fase Questionário	<p>Caso na rodada o índice de Cronbach for menor do que 0,7, ou houver existência de questões com nível de concordância menor que 75%, serão refeitas as questões e enviadas para uma nova rodada de avaliação, compartilhando os <i>feedbacks</i> fornecidos pelos painelistas respondentes, mas mantendo a forma anônima.</p> <p>A quantidade de rodadas está condicionada a atingir consenso entre os painelistas.</p>
3ª fase Consolidação	Com as assertivas validadas, é refinada a versão final e apresentada aos painelistas.

Fonte: Adaptado de Okoli e Pawlowski (2004)

Na Figura 17, estão listados os quatro focos de alinhamento estratégico com a I4.0 e o número das questões elaboradas para resposta dos painelistas, subdivididas nos componentes: processos, sistemas e estrutura.

Figura 17 - Distribuição de Questões por Foco do Alinhamento Estratégico e I4.0. No círculo interno estão as perspectivas de alinhamento estratégico de I4.0 e no círculo externo, a numeração das assertivas para as dimensões Processo, Sistema e Estrutura



Fonte: O Autor.

Dos painelistas convidados, 4 atuam na indústria que aplicam ou fornecem tecnologias habilitadoras da I4.0, com experiência profissional entre 28 e 45 anos. Estão em cargos de presidência, de direção e de duas gerências. Todos possuem pós-graduação, dois são mestres. Os 4 acadêmicos desenvolvem pesquisas em gestão da manufatura com experiência entre 20 e 35 anos. Um possui doutorado e os outros três, mestrado.

#### 4.3.3 Resultados

Após a primeira rodada, o índice Cronbach calculado foi de 0,22, identificando baixa confiabilidade já que o mínimo esperado era de 0,70. Das 16 assertivas apresentadas aos painelistas, 10 delas tiveram nível de concordância inferior aos 75%. Isso motivou a revisão das assertivas considerando as justificativas das escolhas feitas pelos painelistas. Na segunda rodada, o índice Cronbach foi de 0,73, atingindo valor adequado de consistência interna. O nível de concordância também foi atendido; é superior a 75%. No Quadro 16 são apresentados os resultados das assertivas finais, o nível de concordância em que na rodada foi atingido o consenso. Em negrito, estão as frases complementadas nas assertivas iniciais. As assertivas estão concentradas por perspectiva do modelo conceitual.

Quadro 16 – Assertivas atualizadas após a duas rodadas do método Delphi

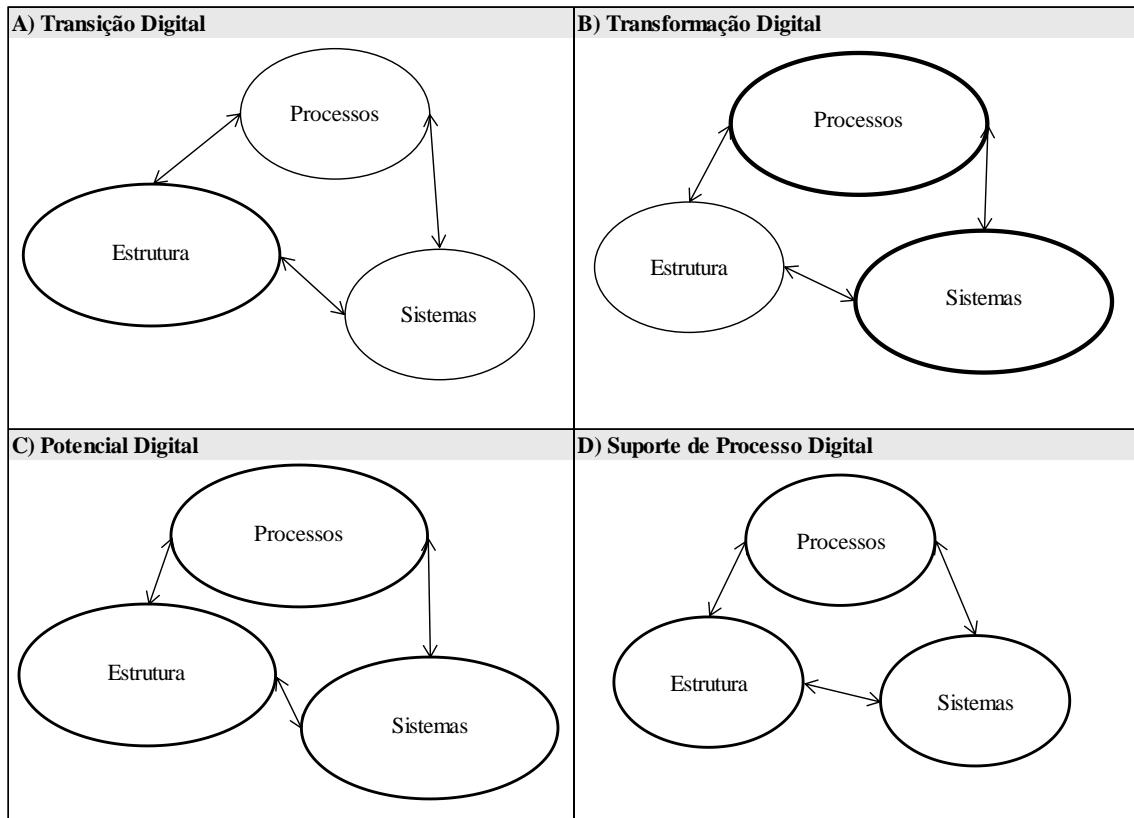
<b>Transição Digital</b>			<b>Transformação Digital</b>		
	<b>Nível de Concordância</b>	<b>Rodada</b>		<b>Nível de Concordância</b>	<b>Rodada</b>
As novas tecnologias I4.0 podem ser aplicadas pontualmente, ou mesmo isoladamente, em partes dos processos de fabricação ou processos de suporte, pelas empresas manufatureiras:			As novas tecnologias I4.0 podem ser aplicadas pelas empresas manufatureiras de forma mais abrangente, considerando mais etapas das atividades produtivas:		
S1.1.1 sem a necessidade de formular uma estratégia organizacional. <b>Embora uma abordagem mais integrada e ampla seja mais eficaz na maximização dos benefícios e na garantia da implementação bem-sucedida e sustentável destas tecnologias.</b>	87.5%	2 <sup>a</sup>	S2.1.1 <b>mas uma implementação mais abrangente exigirá geralmente a revisão e adaptação da estratégia organizacional ao longo do tempo.</b>	100%	2 <sup>a</sup>
S1.2.1 <b>embora sem mudanças radicais nos processos de produção, muitas vezes é necessário ajustar os processos existentes para aproveitar ao máximo estas tecnologias</b>	100%	2 <sup>a</sup>	S2.2 necessitando de revisões nos processos produtivos para extrair o potencial das novas tecnologias.	100%	1 <sup>a</sup>
S1.3.1 <b>embora sem mudanças radicais nos processos de produção, muitas vezes é necessário ajustar os processos existentes para aproveitar ao máximo estas tecnologias.</b>	87.5%	2 <sup>a</sup>	S2.3 com a necessidade de adicionar ou ajustar sistemas.	100%	1 <sup>a</sup>
S1.4.1 é provável que algumas adaptações sejam necessárias ao longo do tempo na estrutura organizacional, <b>exigindo uma redefinição de papéis e responsabilidades e ajustes na cultura organizacional para melhor aproveitar os benefícios das novas ferramentas.</b>	100%	2 <sup>a</sup>	S2.4 a estrutura organizacional deve ter ajustes de cargos e novas funções para extrair o potencial das novas tecnologias.	87.5%	1 <sup>a</sup>

<b>Potencial Digital</b>			<b>Processo de Suporte Digital</b>						
			<b>Nível de Concordância</b>	<b>Rodada</b>				<b>Nível de Concordância</b>	<b>Rodada</b>
Com a aplicação de novas tecnologias facilitadoras I4.0 em todas as operações de produção:					As novas tecnologias facilitadoras da I4.0 podem motivar a prestação de melhores serviços de apoio à produção, suporte e serviços de manutenção:				
S3.1	há potencial para mudança na estratégia da organização, por exemplo oferecendo produtos customizados e agregando serviços ao produto.	87.5%	1 <sup>a</sup>	S4.1.1	embora uma reformulação completa da estratégia organizacional possa não ser obrigatória, <b>serão necessários ajustes específicos para aproveitar plenamente o potencial das novas tecnologias.</b>		100%	2 <sup>a</sup>	
S3.2	pode suportar maiores níveis de flexibilidade na produção do que era possível antes da implementação de novas tecnologias e para isso são necessárias mudanças significativas nos processos de fabricação.	100%	1 <sup>a</sup>	S4.2	reduzindo desperdícios e/ou ajudando na estabilidade e previsibilidade do processo.		100%	1 <sup>a</sup>	
S3.3	apoiar maiores níveis de flexibilidade na produção do que era possível antes da implementação de novas tecnologias e sistemas integrados são necessários, tanto vertical (com foco na gestão) quanto horizontal (com comunicação entre máquinas e processos) para apoiar esta proposta.	100%	1 <sup>a</sup>	S4.3	sistemas exigentes para apoiar o desempenho dos processos de suporte.		100%	1 <sup>a</sup>	
S3.4	Impacta mudanças na estrutura organizacional com a inclusão de novos cargos e novas funções de apoio à gestão destas novas tecnologias.	87.5%	1 <sup>a</sup>	S4.4	são necessárias mudanças na estrutura organizacional, especificamente nas áreas de manutenção e apoio à fabricação para sustentar o potencial das tecnologias inovadoras.		100%	1 <sup>a</sup>	

Fonte: Baseado no artigo 3

Com base nos resultados auferidos foi possível desenvolver um modelo de alinhamento estratégico considerando a I4.0. O modelo usa como referência o modelo seminal de Henderson e Venkatraman (1993) e é apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Modelo Explicativo de Alinhamento Estratégico e I4.0



Fonte: Adaptado do Artigo 3

Na **Transição Digital**, o alinhamento estratégico impulsiona as iniciativas do paradigma I4.0. As novas tecnologias facilitadoras da I4.0 apoiam ocasionalmente a estratégia empresarial, não explorando o potencial das tecnologias inovadoras. Por exemplo, organizações com iniciativas neste foco são fabricantes que possuem projetos, em muitos casos oriundos de um piloto, de melhorias em etapas específicas de processos sem necessariamente terem o propósito de integração com outros processos, sistemas ou recursos. Os ganhos alcançados pelas ações com transição digital não são desprezíveis, mas são específicos e não demandam mudanças na estrutura organizacional para suportar as novas implementações. Grab *et al.* (2019) preveem o comportamento da transição digital. A Figura 18 (A) mostra como se comportam as bases que sustentam o foco do alinhamento estratégico da Transição Digital. Como as novas iniciativas de tecnologia embarcadas são pontuais, os processos e sistemas são pouco influenciados pelas

tecnologias inovadoras, fazendo com que as estruturas organizacionais ainda sejam relevantes para esse foco de alinhamento.

Na **Transformação Digital**, a estratégia organizacional define as diretrizes das iniciativas, inclusive determinando uma estratégia tecnológica, ainda que tacitamente. Os processos, que não estão mais restritos às etapas do processo, são aprimorados para um nível mais alto usando novas tecnologias facilitadoras da I4.0. As tecnologias emergentes implementadas melhoram os sistemas de informação na geração, recolha, fluxo, transferência e processamento de dados para apoiar a tomada de decisões baseadas em dados. A estrutura organizacional passa por ajustes para suportar os processos operacionais neste foco. As aplicações da transformação digital são objeto de estudo de diversos autores (Culot *et al.*, 2020; Ghobakhloo, 2020; Kamble *et al.*, 2020; Mugutkar&Kohir, 2018; Oluyisola *et al.*, 2020). A Figura 18 (B) apresenta as bases dos Processos e Sistemas que são mais predominantes que a estrutura. Sendo assim, na Transformação Digital, as tecnologias inovadoras do I4.0 estão mais presentes na fabricação, impactando em maior medida tanto os processos como os sistemas, representados pelo tamanho dos balões. As estruturas organizacionais da produção ainda não foram impactadas, apesar do surgimento de novos cargos e funções para lidar com novas tecnologias, como analistas de dados e analistas de sistemas.

No **Potencial Digital**, a organização opta por explorar o potencial competitivo oferecido pelas novas tecnologias facilitadoras da I4.0. As integrações horizontais e verticais resultam de investimentos em tecnologia (Kagermann *et al.*, 2013; Nosalska *et al.*, 2020). Os modelos de implantação I4.0 (Cordeiro *et al.*, 2019), maturidade (Geissbauer *et al.*, 2016; Schuh *et al.*, 2020) e prontidão (Agca *et al.*, 2017) atendem a esse foco, portanto, definem o caminho que a organização deve seguir para explorar a competitividade rumo a uma empresa que identifica captura de valor com I4.0 (Chiarini *et al.*, 2020) de ponta a ponta do ciclo de vida do produto (Zheng *et al.*, 2021). Termos como servitização e customização em massa (Chauhan *et al.*, 2021; Zawadzki&Zywicki, 2016) são explorados com o potencial digital. O foco é oferecer distinção e exclusividade ao consumidor (Mourtzis *et al.*, 2018). O impacto natural desta perspectiva é a revisão da estrutura com a adoção de novas funções que antes não existiam na organização. A intensidade equilibrada dos Processos, da Estrutura e dos Sistemas é apresentada na Figura 18 (C). Neste foco, há impacto direto nas bases propostas com as novas tecnologias inovadoras do I4.0.

No **Processo de Suporte Digital**, a estratégia tecnológica não interfere na estratégia organizacional. Ela preconiza a perspectiva do nível de serviço do modelo de Henderson e

Venkatraman (1993). Esforços são feitos em direção a uma estrutura tecnológica para melhorar o atendimento aos clientes internos. Eles estão reduzindo o desperdício de tempo, materiais e recursos, agilizando os processos de produção com menos interrupções, tornando os resultados dos processos de produção estáveis e previsíveis. Direciona-se às tecnologias facilitadoras da I4.0 para esses fins. Diferentes autores (Grab *et al.*, 2019; Ko *et al.*, 2000; Marques *et al.*, 2017) retratam o uso da tecnologia para oferecer um melhor nível de serviço, em linha com a perspectiva proposta no modelo conceitual tendo as tecnologias inovadoras da I4.0 como impulsionadores. No Processo de Suporte Digital, os processos representam um maior esforço da organização em investir em novas tecnologias I4.0, especificamente processos de apoio produtivo, como pode ser visto na Figura 18 (D).

A caracterização da organização sob uma perspectiva (Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital) é possível com o arranjo dos componentes (processos, sistemas e estrutura) em intensidades diferentes. Apesar de usar como referência o modelo seminal de Henderson e Venkatraman (1993), o modelo de alinhamento apresentado neste estudo considera novas tecnologias I4.0 com seu potencial para incorporar vantagem competitiva para a organização da produção com soluções tanto de automação quanto de sistemas de informação. Como contribuição prática, o modelo pode ser utilizado por profissionais para tipificar o alinhamento estratégico quanto ao uso de tecnologias I4.0 nas organizações produtivas e, assim, escolher qual(is) perspectiva(s) a organização deve priorizar em suas ações estratégicas. O Modelo de Alinhamento Estratégico I4.0 não restringe a forma como as tecnologias emergentes são utilizadas.

#### 4.3.4 Considerações finais

A principal contribuição deste estudo é o resgate da aplicação de novas tecnologias I4.0 vinculadas ao posicionamento estratégico da organização, para que não seja apenas um fator de despesa para a organização. A administração da organização terá uma direção a seguir ao identificar qual a perspectiva que melhor se adapta aos seus propósitos ou que considera a mais adequada aos seus objetivos futuros.

## 5 DISCUSSÕES

Este capítulo analisa de que maneira os resultados alcançados na pesquisa, com os três artigos delineados no capítulo 4, atendem ao objetivo geral, aos três objetivos específicos do estudo e a Questão de Pesquisa. Em sequência, há o resgate da fundamentação teórica, com o propósito de avaliar e contrastar a contribuição do modelo explicativo desenvolvido nesta tese.

### 5.1 Objetivo Geral, Objetivos Específico I, II e III e Questão de Pesquisa

Do Artigo 1, foi possível relacionar o estado da arte na literatura sobre I4.0, I5.0 e estratégias, com foco no alinhamento. As contribuições do artigo incluem o estabelecimento de uma taxonomia com cinco níveis, orientando como as investigações estão sendo conduzidas sobre o alinhamento estratégico. A taxonomia beneficia a identificação das diferentes abordagens estratégicas consideradas na literatura com a I4.0 e a I5.0. Adicionalmente, foi possível estabelecer visões de diferentes direções sobre orientações de pesquisa levantadas na literatura. Estabeleceram-se também os principais desafios na definição conceitual de alinhamento estratégico, considerando as tecnologias habilitadoras da I4.0 e da I5.0. Uma consideração importante retirada deste trabalho foi que a I5.0 é uma visão particular da I4.0. Enquanto a I4.0 tem uma visão de eficiência, a I5.0 traz uma visão de eficácia, evidenciada pela própria definição da Comissão Europeia (Renda *et al.*, 2022). Isto é, apesar de a I5.0 elencar tecnologias disruptivas em relação a I4.0, como, por exemplo, robôs vestíveis (Yaqub e Alsabban, 2023) e a orientação para atender objetivos mais amplos sociais e ambientais, ainda assim os princípios da I4.0 são mantidos, como por exemplo: ganhos de produtividade, personalização e automação não supervisionada.

Esses achados estão em linha com o Objetivo Específico I: Analisar as implicações do alinhamento estratégico na implementação de tecnologias I4.0 e avaliar criticamente os conceitos e limitações da I5.0 na obtenção de um alinhamento estratégico eficaz.

O Artigo 2 avaliou a aderência de onze empresas à perspectiva de Transformação Tecnológica do modelo de alinhamento estratégico proposto por Henderson e Venkatraman (1993). Essa avaliação tem aderência com o Objetivo Específico II: Verificar a aplicação da transformação tecnológica do modelo de alinhamento estratégico entre TI e negócios

desenvolvido por Henderson e Venkatraman em companhias que adotam tecnologias habilitadoras da I4.0. As implicações práticas e teóricas dos resultados obtidos no Artigo 2 podem ser assim resumidas:

- As organizações apresentaram diferentes níveis de aderência à perspectiva de Transformação Tecnológica do modelo de Henderson e Venkatraman (1993). Isso indica que uma mesma organização pode exibir características de várias perspectivas do modelo, mas uma perspectiva sobressai em relação às outras;

- As perspectivas do modelo de Henderson e Venkatraman (1993) não são hierárquicas, e nenhuma delas é intrinsecamente superior. No entanto, na perspectiva de Transformação Tecnológica, a estratégia de negócios orienta os investimentos em TI. Os investimentos, portanto, devem permitir responder "como" atender os objetivos estratégicos da organização. Por exemplo, se a empresa tem como objetivo estratégico ser ágil, ela deve investir em tecnologias que podem diminuir o *lead time*, entre outros focos de melhoria que possam reduzir o tempo de operação, mas, a simples adoção das tecnologias pode ser insuficiente para uma vantagem competitiva perene, por ser de fácil replicação por concorrentes;

- Os investimentos em tecnologias habilitadoras da I4.0 devem estar atrelados não apenas à estratégia de negócios, mas também a mudanças nos sistemas de produção e controle. A capacidade de aumentar a flexibilidade dos processos depende da melhoria do fluxo de dados para a tomada de decisões. Informações aumenta a flexibilidade dos processos, pois permite uma detecção e comunicação mais eficientes de desvios em relação ao planejamento. Quanto mais rápido esses desvios são identificados e comunicados, mais ágil é a capacidade de tomada de decisão e adaptação a novas demandas, reprogramações ou correções de falhas em premissas assumidas no planejamento.

O Artigo 3 tem como objetivo apresentar e avaliar um modelo explicativo de alinhamento estratégico com as novas tecnologias habilitadoras da I4.0. Este artigo atende diretamente ao Objetivo Específico III da tese, definido como: Apresentar um modelo que suporte a tipificação do alinhamento estratégico, considerando as tecnologias emergentes da I4.0.

O modelo explicativo caracteriza a organização a partir da escolha de uma perspectiva (Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital) como resposta a combinação de componentes (Estrutura, Processos e Sistemas) em diferentes intensidades. Esta especialização do modelo de Henderson e Venkatraman (1993) considera as

novas tecnologias da I4.0 e seu potencial para incorporar vantagem competitiva para a organização.

O estudo destaca a importância do alinhamento estratégico para o desempenho competitivo das organizações na era da I4.0. Ele sugere que a adoção das tecnologias emergentes deve estar alinhada com à estratégia organizacional para evitar o paradoxo da produtividade. Nele os investimentos em tecnologia não resultam em níveis proporcionais de produtividade.

O modelo pode ser utilizado por profissionais para tipificar o alinhamento estratégico em relação ao uso das tecnologias I4.0 em organizações produtivas. Ele permite que as organizações escolham quais perspectivas priorizar em suas ações estratégicas, ajudando a evitar que as novas tecnologias sejam apenas um fator de custo e, ao contrário, tornem-se um diferencial competitivo.

O Objetivo Geral desta tese consiste em desenvolver um modelo explicativo, baseado no modelo de Henderson e Venkatraman, que relate as tecnologias habilitadoras da I4.0 ao alinhamento estratégico das organizações de manufatura. A consecução desse objetivo geral foi alcançada por meio de três artigos, cujas contribuições são detalhadas nos parágrafos que seguem:

No Artigo 3, foi delineado o desenvolvimento do modelo explicativo. Os componentes desse modelo foram avaliados por um grupo de acadêmicos e profissionais. A classificação do alinhamento estratégico ocorre com base na combinação de seus componentes (Estrutura, Processos e Sistemas). Neles, a combinação e a intensidade definem a perspectiva mais apropriada de alinhamento (Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital). É importante ressaltar que o modelo de Henderson e Venkatraman (1993) serviu como referencial no desenvolvimento do modelo explicativo.

Para estabelecer a lacuna que o modelo explicativo deveria preencher em relação ao modelo seminal, foi conduzida uma pesquisa exploratória com onze empresas, focada na avaliação da aderência do modelo de Henderson e Venkatraman (1993), adaptando as questões para contemplar as tecnologias habilitadoras da I4.0. Os resultados dessa pesquisa são apresentados no Artigo 2, revelando uma aderência à perspectiva de transformação tecnológica do modelo seminal, apesar de sua formulação original não ter considerado especificamente a influência da I4.0.

O Artigo 1 contribuiu para o embasamento teórico da tese por meio de uma revisão sistemática da literatura sobre estratégia e I4.0, incluindo a I5.0 na pesquisa, para identificar os limites do conhecimento atual. Explorando diversas abordagens sobre o alinhamento estratégico considerando tanto a I4.0 quanto a I5.0, esse artigo ofereceu uma contribuição relevante para a tese ao reconhecer a I5.0 como uma evolução da I4.0 com vistas à eficácia.

Para a Questão de Pesquisa: como um modelo explicativo pode relacionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 e a estratégia de empresas de manufatura? Este projeto de pesquisa visa a responder à questão de como um modelo explicativo pode relacionar as novas tecnologias habilitadoras da I4.0 com a estratégia de empresas de manufatura. Para tal, foi desenvolvido um modelo de alinhamento, detalhado no Artigo 3 desta tese.

O relacionamento do alinhamento estratégico com as tecnologias habilitadoras da I4.0 é previsto em quatro perspectivas distintas:

- 1. Transição Digital:** Nesta perspectiva, as tecnologias habilitadoras são integradas à manufatura de maneira gradual, refletindo um uso incremental conforme a empresa avança na adoção digital na manufatura.
- 2. Transformação Digital<sup>1</sup>:** Aqui, as tecnologias são plenamente incorporadas e transformam significativamente os processos de manufatura, indicando um uso avançado e intensivo das tecnologias habilitadoras.
- 3. Potencial Digital:** Esta perspectiva posiciona as tecnologias habilitadoras como a força motriz principal do alinhamento estratégico, evidenciando seu papel central na redefinição das capacidades e das estratégias da manufatura.
- 4. Processo de Suporte Digital:** Por fim, esta perspectiva enfoca o alinhamento através de soluções tecnológicas aplicadas especificamente nos processos de sustentação da organização de manufatura, contribuindo para a eficiência e a otimização das operações de apoio.

Ao propor e desenvolver este modelo de alinhamento, a pesquisa busca fornecer um *framework* teórico robusto que explique como as empresas de manufatura podem

---

<sup>1</sup> O termo "Transformação Digital" é empregado aqui com um conceito que difere do amplamente difundido na literatura. Enquanto muitos autores defendem que a Transformação Digital é sinônimo de Manufatura Inteligente ou da Quarta Revolução Industrial (Culot et al., 2020; Ghobakhloo e Iranmanesh, 2021), no modelo explicativo, esse termo é utilizado com um escopo mais restrito, aplicando-se a organizações que implementam soluções tecnológicas não apenas para subsidiar suas estratégias organizacionais, mas também para propor soluções inovadoras e abrangentes que possam apoiar e atender as estratégias de negócios.

estrategicamente integrar as novas tecnologias da I4.0 em suas operações. Cada uma das quatro perspectivas oferece uma maneira distinta de observar e entender o impacto dessas tecnologias, possibilitando uma análise abrangente e detalhada dos diferentes níveis e modos de adoção tecnológica. Sendo assim, este estudo contribui para responder à Questão de Pesquisa ao apresentar um modelo explicativo que relaciona as tecnologias habilitadoras da I4.0 com as estratégias de manufatura. A abordagem multidimensional permite que as empresas identifiquem a melhor forma de alinhar suas estratégias tecnológicas com seus objetivos organizacionais, promovendo uma integração eficaz e eficiente das inovações da I4.0.

## **5.2 Modelo Explicativo e a Fundamentação Teórica**

O modelo explicativo proposto baseia-se no conceito de alinhamento estratégico destacado por Henderson e Venkatraman (1993), que enfatiza a importância de sincronizar a estratégia de negócios com as soluções tecnológicas para alcançar vantagem competitiva (Mitropoulos, 2021). Nesse contexto, a implementação de tecnologias da I4.0 deve estar alinhada com a estratégia organizacional, para que não seja apenas um fator de custo, mas um impulsionador de vantagem competitiva (Agostini e Filippini, 2019).

Conforme discutido no item 2.1, as barreiras para a implementação da Indústria 4.0, como a falta de alinhamento estratégico, impedem que as empresas aproveitem plenamente os benefícios dessas tecnologias (Chauhan, Singh e Luthra, 2021). Portanto, o modelo explicativo proposto visa a auxiliar as organizações a identificar a perspectiva de alinhamento mais adequada para sua realidade, traçando um caminho mais apropriado para a adoção da I4.0.

No que tange ao advento da I5.0, tratada no item 2.1.1, o modelo explicativo pode ser estendido para abordar o impacto dessas novas tecnologias no campo estratégico. A I5.0, com seu foco em valores socioambientais centrada no ser humano, demanda uma perspectiva de alinhamento estratégico que transcenda a orientação exclusiva para a tecnologia. Portanto, o modelo pode ser adaptado para incluir as implicações da I5.0 no alinhamento estratégico organizacional, considerando as novas prioridades que ela introduz.

O modelo explicativo proposto na tese também considera o nível de prontidão das organizações para a implementação da I4.0. Essa avaliação é essencial para que as empresas identifiquem os aspectos que precisam ser fortalecidos a fim de alcançar o alinhamento

estratégico necessário para o sucesso na adoção das tecnologias da I4.0 (Machado *et al.*, 2021). O modelo explicativo de alinhamento auxilia na identificação do nível, utilizando quadrantes que classificam a proximidade da organização em relação à perspectiva de interesse.

Diferente da relação do modelo de maturidade da Acatech (Schuh *et al.*, 2020), o modelo explicativo não segue uma estrutura escalonada, dado que suas aplicações estão relacionadas com a categorização. Enquanto o modelo da Acatech é prescritivo, o modelo explicativo classifica as organizações em diferentes perspectivas. Nesse contexto, a organização pode identificar o quadrante mais adequado para alcançar competitividade. Além disso, o modelo da Acatech não considera a intenção de uma organização em estruturar seus serviços de suporte aos processos produtivos, um aspecto abordado na perspectiva de Processo de Suporte Digital do modelo explicativo.

O modelo de Warwick (Agca *et al.*, 2017) utiliza o conceito de quadrantes para análise de maturidade e propõe um conceito evolucionário similar ao modelo da Acatech. Esse problema não ocorre no modelo explicativo fundamentado nesta tese, que é adaptável e responsivo.

O modelo explicativo desenvolvido no Artigo 3 também pode ser confrontado aos modelos de alinhamento descritos no capítulo 2.2 (Alinhamento Estratégico) da seguinte forma: assim como o modelo de McFarlan (1984), utiliza-se no modelo explicativo o conceito de quadrantes para caracterizar as empresas, mas o Grid Estratégico de McFarlan caracteriza a empresa de acordo com a relação cartesiana entre portfólios de projetos e projetos atuais de TI. O modelo explicativo de alinhamento desta tese, por outro lado, confronta como a empresa utiliza a combinação dos componentes: Estrutura, Processos e Sistemas para caracterizar a empresa sobre o uso de tecnologias. Em termos práticos, enquanto o grid estratégico relaciona projetos, o modelo explicativo avalia a aplicação das tecnologias.

Para o modelo de Henderson e Venkatraman (1993), como já apresentado em outras partes desta tese, a principal distinção creditada ao modelo explicativo desenvolvido é considerar como as tecnologias habilitadoras da I4.0 são aplicadas, mas ainda assim, o modelo seminal fundamenta este projeto de pesquisa. É providencial considerar que o modelo seminal não foi elaborado com o foco em empresas de manufatura, como é o caso do modelo explicativo.

O mesmo modelo explicativo foca na influência direta da TI nas decisões estratégicas e na implementação de tecnologias I4.0, enquanto o modelo seminal enfatiza a sinergia entre TI e negócios para sustentar estratégias organizacionais.

Comparando as perspectivas dos dois modelos, enquanto na **Execução da estratégia** no modelo seminal cabe à área de TI sustentar a estratégia de negócios, no modelo explicativo, a **Transição Digital** caracteriza-se pelo fato de a área da manufatura estabelecer que as implementações de tecnologias habilitadoras da I4.0 estejam em linha com a estratégia de negócios, ou, mesmo que a estratégia seja apenas tácita, a organização deve implementar soluções tecnológicas com foco em buscar eficiência operacional.

Na perspectiva do modelo seminal, na **Transformação tecnológica** há sinergia entre TI e negócios para estabelecer como infraestrutura e processos implementam e sustentam as estratégias. Enquanto no modelo explicativo, a **Transformação Digital** tem como característica soluções de tecnologia habilitadora da I4.0 mais extensamente aplicadas seja em processos ou sistemas e mudanças pontuais na estrutura da área de manufatura.

Na perspectiva do **Potencial competitivo** do modelo seminal, a área de TI define a estratégia que impacta a estratégia organizacional. Em grande semelhança, o **Potencial Digital** do modelo explicativo estabelece a estrutura organizacional, mais especificamente da manufatura, para atender às necessidades da estratégia tecnológica, impactando processos de produção e sistemas.

Para a perspectiva **Nível de serviço** no modelo seminal, o objetivo é construir uma organização de serviços, enquanto no modelo explicativo, o **Processo de Suporte Digital**, o foco é mais específico, ao sustentar os processos de manufatura para reduzir variabilidade e diminuir paradas produtivas.

O modelo de Reich e Benbasat (1996) relaciona a integração de TI e negócio para definir o alinhamento. No modelo explicativo, a integração é refletida nos componentes do modelo em maior ou menor intensidade. Estruturas, Processos e Sistemas são influenciados diretamente pela integração e condicionam a tipificação de alinhamento.

O modelo de Teo e King (1997) considera uma trilha que deve ser seguida pela organização para atingir o alinhamento. No modelo explicativo desta tese, ao tipificar o alinhamento, considera-se que uma organização poderá estar em diferentes momentos para atingir o alinhamento, não se restringindo a uma única forma de alinhamento.

Já Luftman (2000) em seu modelo de maturidade, considera o alinhamento como um processo evolutivo, sugerindo que, quanto maior a maturidade organizacional, maior o êxito no alinhamento. O modelo explicativo desta tese estabelece que não há uma perspectiva superior a outra, mas sim uma perspectiva mais adequada ao momento e aos objetivos estratégicos da organização.

Para Brodbeck e Hoppen (2003) o tempo também condiciona o alinhamento, o modelo explicativo é acrônico, ou seja, não está condicionado ao tempo para caracterizar uma organização quanto ao alinhamento, mas à forma, à intensidade e ao arranjo que lida com os componentes do modelo.

Kearns e Sabherwal (2006) direcionam que o alinhamento ocorre caso a área de TI seja instada a resolver problemas de negócio, relacionando a execução de projetos de TI como forma de atingir alinhamento. O modelo explicativo determina que o alinhamento ocorre por iniciativas de negócio ou de TI que influenciam o arranjo dos componentes do modelo, conforme demandado. Por consequência, definem qual das quatro perspectivas é a identificada na organização, não influenciada pela quantidade de projetos, mas pelo resultado esperado.

Joia e Souza (2009) também condicionam o desenvolvimento de planos de negócio e de TI para definir o alinhamento, o que pode ajudar a organização a buscar alinhamento, mas não consideram qual o tipo de alinhamento é o mais adequado, proposta do modelo explicativo apresentada nesta tese.

Schlosser *et al.* (2015) utilizam a análise de fatores informais e formais de comunicação para o sucesso do alinhamento, a principal desvantagem deste modelo é considerar que apenas aspectos sociais direcionam o alinhamento, enquanto o modelo explicativo relaciona questões técnicas, tecnológicas e estruturais para tipificar o alinhamento, no direcionamento prescritivo.

Para Cui *et al.* (2015), o alinhamento está atrelado à inovação originária de TI. A crítica deste modelo é considerar que TI tem o papel inovador, quando o modelo explicativo não classifica o tipo de inovação e qual o fator originador, mas classifica os resultados em decorrência inovativa da organização, ou projeta quais inovações tecnológicas devem ser incorporadas para atingir uma determinada perspectiva.

O modelo de Reynolds e Yelton (2015) é aplicado para empresas de multinegócios, já o modelo explicativo não está condicionado ao porte da empresa, mas a como as tecnologias

habilitadoras são aplicadas, o que permite sua aplicação a uma gama ampla quanto ao tamanho e ao tipo de empresa de manufatura.

## 6 CONCLUSÕES

Os achados deste projeto de pesquisa trouxeram a relevo considerações, resumidas em itens listados a seguir:

- 1 O alinhamento estratégico impõe-se como um fator relevante para atingir resultados com a implantação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0. De fato, essa constatação ocorreu tanto teórica, com o artigo de revisão sistemática (Artigo 1), como prática, com o artigo de pesquisa exploratória com onze empresas (Artigo 2) e com o artigo aplicando metodologia Delphi (Artigo 3). Em consequência, a adoção de tecnologias habilitadoras estará restrita a ganhos pontuais não se atrelar a resultados que possam contribuir para a estratégia da organização.
- 2 Com base no referencial teórico levantado neste projeto, há vários modelos de alinhamento estratégicos. Neste texto, foram citados onze, mas, mesmo não havendo garantia de ter esgotado os modelos de alinhamento, ainda assim o modelo de Henderson e Venkatraman é uma referência comum entre os modelos, o que denota a sua pertinência.
- 3 Ao caracterizar as organizações segundo o modelo de Henderson e Venkatraman em três das quatro perspectivas: Transformação Tecnológica, Potencial Competitivo ou Nível de Serviços, espera-se que tais empresas tenham estruturas organizacionais e dinâmicas de capacidades também ajustadas para esta nova ordem. É, portanto, uma mudança de origem tanto tecnológica como também estruturante. A perspectiva de menor necessidade de reformulações estruturais é a de Execução da Estratégia, uma vez que nessa perspectiva, as mudanças são mais restritas e pontuais.
- 4 Com base no referencial teórico e na pesquisa de revisão de literatura que deu origem ao Artigo 1, não foi possível identificar modelos que tipifiquem as empresas quanto ao alinhamento adotado, exceto pelo modelo de Henderson e Venkatraman. Observa-se uma tendência predominante de modelos que explicam o processo de alinhamento, indicam o caminho a ser seguido ou medem a aderência a níveis de maturidade ou prontidão. Este projeto de pesquisa destaca-se ao propor a classificação do alinhamento considerando características estratégicas, seja da área de negócios ou da área de TI. A principal contribuição em comparação ao modelo de Henderson e Venkatraman é que este projeto de pesquisa incorpora as tecnologias emergentes da I4.0 e estão circunscritas ao ambiente de manufatura.

- 5 O modelo de alinhamento estratégico de Henderson e Venkatraman foi desenvolvido bem antes do surgimento do termo I4.0, o que sugere a necessidade de analisar o impacto da I4.0 no alinhamento, propósito deste projeto.
- 6 A tipologia proposta com o modelo explicativo em curso de elaboração significa que a organização tem a possibilidade de ajustar seus investimentos em tecnologias habilitadoras de acordo com suas intenções estratégicas, seja de negócio ou de TI. Não se estabelece, assim, um único caminho de implantação, crítica comum aos modelos de alinhamentos.
- 7 Apesar de base teórica consolidada sobre a relevância do alinhamento estratégico com a TI e, por consequência, com as novas tecnologias habilitadoras da I4.0, ainda há limitada quantidade de aplicações práticas. Isto desperta o interesse de desenvolver trabalhos sobre a relação de influência positiva do alinhamento estratégico com a I4.0.
- 8 O modelo explicativo de alinhamento estratégico considerando a I4.0 propõem quatro perspectivas: Transição Digital; Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital. Cada perspectiva tipifica o alinhamento estratégico em prática pela organização. Não são lineares portanto, não há perspectiva que uma seja pré-requisito de outra. Assim, é esperado que uma mesma organização seja classificada em perspectivas distintas, mas tendo uma perspectiva em maior relevância do que as demais.
- 9 O modelo explicativo tem como componentes Estruturas, Processo e Sistemas. Os componentes determinam, de acordo com o arranjo e a intensidade, qual é o comportamento esperado com a adoção das tecnologias emergentes da I4.0 para atingir alinhamentos.
- 10 O Quadro 17 sintetiza para as perspectivas do modelo explicativo, as implicações e comportamentos projetados dos três componentes. Os componentes foram avaliados por painelistas no Artigo 3. No Quadro 17 também são apresentadas as implicações para a Estratégia de Negócio, conforme o arranjo e a combinação dos componentes que compõem o modelo explicativo.

Quadro 17 - Quadro Alinhamento Estratégico e I4.0

	Transição Digital	Transformação Digital	Potencial Digital	Processo de Suporte Digital
Estratégia de Negócio	Não há mudanças ou impactos significativos na estratégia organizacional, mas a transição digital facilita o ganho de competitividade ao tornar etapas gargalos ou com deficiência de monitoramento mais ágil e previsível.	Processos produtivos passam a ser o foco, não se limitando a etapas de processos. Mesmo assim, o uso de novas tecnologias em boa parte ou em todo o processo não representa uma vantagem competitiva por si só, pois não altera ou impacta a estratégia organizacional, a não ser pelo acréscimo na eficiência operacional.	A estratégia organizacional ajusta-se a uma nova ordem, pois a customização e a servitização impõem vantagem competitiva e oferecem novas oportunidades de negócio com agregação de valor.	A estratégia de negócio é afetada pela influência da servitização interna. Processos de apoio oferecem mais recursos e suporte para sustentar o desempenho dos processos operacionais, o que permite à organização oferecer produtos atrelados a serviços diferenciados.
I4.0	Ações pontuais de implementação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0: geralmente, as soluções estão restritas às melhorias localizadas a parte de processos, seja para aumentar a produtividade, melhorar a qualidade ou melhorar a rastreabilidade.	Ações de implementação de novas tecnologias habilitadoras da I4.0 são mais amplas, envolvendo mais atividades em processos ou até mesmo o processo completo. Não há foco em integração de processos, apesar de encaminhada a possibilidade de ocorrer, dependendo da progressão	Processos são baseados em soluções tecnológicas da I4.0. Integrações tanto verticais como horizontais são identificadas, permitindo nível de automação, com uso mais amplo de CPS e rastreabilidade e monitoramento em tempo real ao longo de todo o processo. Dados coletados	Processos de apoio e de manutenção estão assistidos por soluções de tecnologia da I4.0. A organização utiliza as soluções de tecnologia para suportar seus processos principais, de forma a garantir tempos maiores entre falhas e redução dos tipos de paradas. Não apenas a continuidade dos

		<p>de implementações de novas tecnologias. Há aumento de produtividade, melhoria da qualidade e com possibilidade de coletar dados em etapas do processo, mas com tratamento desses dados ainda incipiente ou pontual.</p>	<p>nas etapas dos processos são usados para apoiar tomada de decisão. Flexibilidade nos processos e na roteirização de etapas produtivas são viáveis. Possibilidade de customização em massa e servitização têm aplicação em empresas que adotam tal foco.</p>	<p>processos são objetivos deste foco, mas também os responsáveis que operam os processos, ao monitorar o desempenho da relação homem-máquina. A servitização com foco interno faz com que os processos principais sejam aprimorados.</p>
Processos	<p>Processos produtivos mesclam iniciativas de novas tecnologias habilitadoras da I4.0 com soluções convencionais ou com poucas ações tecnológicas. Há dependência de pessoas para o funcionamento das etapas do processo e para apontamento do desempenho.</p>	<p>A automação em etapas dos processos é mais presente. Nível de dependência humana é ainda percebido mas em atividades mais complexas, em que a automação não é possível. A coleta de dados apoia a tomada de decisão local.</p>	<p>Processos completos são automatizados, com baixa interferência humana para atender os objetivos de produção. As integrações horizontais e verticais são conseguidas em razão da coleta de dados e interferência em variáveis de processos, em grande parte de forma remota. A flexibilidade de produção com as integrações permite responder em tempo real a variações de pedidos e demandas</p>	<p>Processos de apoio e suporte são objetivos de implantação de novas tecnologias. Processos principais podem ter iniciativas de implantação de novas tecnologias, mas o monitoramento e controle são os objetivos deste foco</p>
Sistemas	<p>Sistemas de gestão caracterizam empresas com</p>	<p>Sistemas de gestão ainda são predominantes em</p>	<p>Sistemas determinam a gestão das integrações</p>	<p>Sistemas de suporte são característica desse foco.</p>

	<p>este foco. Baixa integração e com pouca possibilidade de integração resumem os sistemas para emissão de ordem de fabricação e movimentação de estoque.</p>	<p>organizações com este foco, mas sistemas de coleta de dados com interação gráfica, por exemplo, com aplicação de controle estatístico de processos, passam a ser utilizados. Sistemas permitem criar históricos de processos, mesmo que ainda não representem a previsibilidade de processos.</p>	<p>verticais e horizontais. Dados coletados em todos os processos são tratados e manipulados facilmente por sistemas que identificam tanto desvios, como correções que devem ser realizadas. A roteirização de processos produtivos e a flexibilidade de requisitos e de demandas são viabilizadas por sistemas que lidam com diferentes fontes de dados, buscando sempre a melhor eficiência em tempo real.</p>	<p>As áreas de suporte podem acompanhar o desempenho dos processos principais e interagir em seu funcionamento com foco em garantir a plena operação. As intervenções de manutenção, mesmo que corretivas, são assertivas ao interpretar dados coletados durante o funcionamento por sistemas apropriados que sugerem ações de verificação e correção, reduzindo o tempo de reparo.</p>
Estrutura	<p>Apesar da necessidade de capacitação técnica para operar e ajustar as tecnologias habilitadoras da I4.0, não há mudanças significativas nas competências dos profissionais envolvidos nos processos.</p>	<p>Competências e habilidades novas são exigidas, tanto operacional, quanto manutenção e gerencial. A área de manutenção passa a ter a necessidade de interagir em conjunto com a operacional com intervenções em programações de processos. A gestão</p>	<p>Não apenas novas competências e habilidades são necessárias, mas também surgem novos cargos na organização. Analista de dados, desenvolvedores e analistas de sistemas passam a ter funções importantes em empresas com esse foco. Operadores têm necessidade de</p>	<p>A área de apoio é formada por profissionais que além de conhecer os processos, também detêm conhecimento e habilidades para interagir com novas tecnologias habilitadoras da I4.0. Os processos principais têm corpo operacional com conhecimentos técnicos aprimorados para interagir,</p>

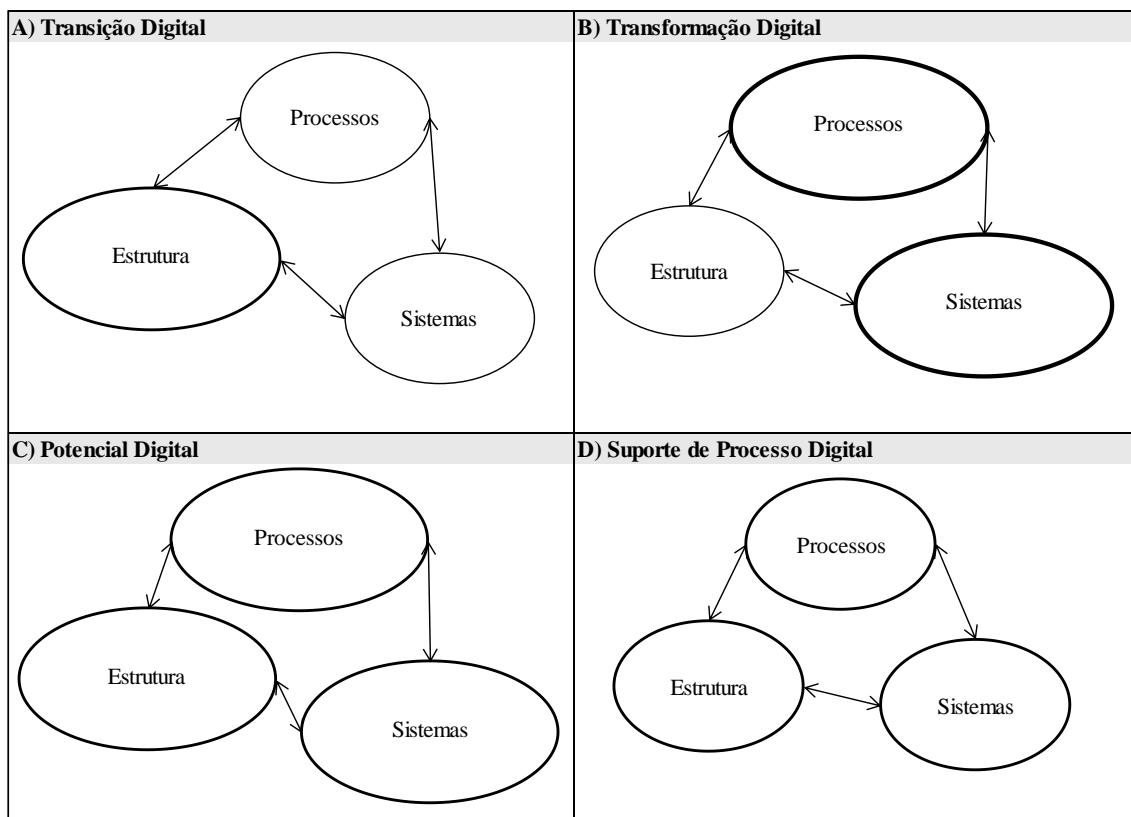
		<p>baseada em dados começa a tomar forma como algo recorrente.</p>	<p>conhecimento técnico para interagir com diferentes sistemas e processos. A gestão é totalmente baseada em dados, adicionando a atribuição de garantir que modelos especialistas de decisão fabril sejam constantemente aprimorados. A gestão do conhecimento também é relevante para organizações nessa perspectiva.</p>	<p>mas, ainda assim, a equipe de apoio e manutenção possui competência técnica mais apurada. Participam do quadro de cargos em processos de apoio analista de dados, desenvolvedores e analistas de sistemas com foco em garantir que os processos operem de forma efetiva e eficiente, base da servitização interna.</p>
--	--	--	---	---

Fonte: O Autor

11 O Artigo 3 propõem graficamente o modelo explicativo na Figura 19 e, em conjunto com o resumo das perspectivas relatado no Quadro 16 formam a base deste projeto.

Figura 19 – Modelo Explicativo de Alinhamento Estratégico e I4.0, com os componentes: Estruturas, Processos e Sistemas delineando como as perspectivas nos quadrantes são distintas. Em (A), Estrutura está em evidência, pois as tecnologias habilitadoras são pontuais e auxiliares. Em (B), as tecnologias passam a ter maior influência nos resultados e os impactos são constatados em Processos e Sistemas.

Em (C), todos os componentes do modelo são impactados e movimentam a manufatura para uma produção de baixa ou nenhuma supervisão e altamente flexível tanto de requisitos como de demanda. Em (D), continua em evidência os três componentes, mas nas áreas de apoio aos processos produtivos, em razão disto com os três balões menores.



Fonte: Adaptado do Artigo 3

12 Em termos de implicações sobre os resultados deste projeto de pesquisa são esperados quatro pontos: (1) Compreender como a I4.0 pode contribuir às organizações na identificação do ponto de inflexão em investimentos nas tecnologias habilitadoras, de acordo com a perspectiva de alinhamento escolhida; (2) Identificar quais mudanças são necessárias para aplicação da I4.0, segundo seu

posicionamento estratégico; (3) Verificar para uma estratégia de tecnologia em curso, quais tipos de alinhamentos estão atendendo em menor ou maior grau e, (4) Quais linhas de tecnologias precisam ser desenvolvidas ou adquiridas para cobrir lacunas no alinhamento estratégico em prática.

- 13 A I5.0 não compõe o escopo desta pesquisa, conforme delineado no item 1.3 (Escopo e Delimitação do Trabalho). No item 2.1.1 desta tese, apresenta-se uma breve descrição da I5.0 e uma discussão sobre suas diferenças em relação à I4.0. A exclusão da I5.0 justifica-se pela avaliação do autor de que não há uma mudança de fundamentos significativa entre I4.0 e I5.0, o que impacta na formulação do modelo explicativo desenvolvido. Essa posição é fundamentada no Artigo 1 e detalhada no item 4.3. A crítica à pertinência da I5.0 em comparação à sua proposta é tratada de forma mais aprofundada em um artigo separado, não incluído entre os artigos principais desta tese, cuja íntegra está disponível no Apêndice E – Artigo em *Short Paper*.

Ainda que seja intuito do pesquisador ampliar a abordagem para compor o modelo explicativo, há limitações não consideradas, como em qualquer pesquisa. As principais limitações seriam supor que a tipificação de alinhamento pode se restringir à ordem técnica-organizacional, sem considerar questões de relacionamento entre os atores envolvidos, cultura empresarial, nível de maturidade organizacional, nível de engajamento da alta direção, qualidade da mão-de-obra e inferência de políticas públicas. Pontos explorados como barreiras de implementação da I4.0 não fazem parte do escopo deste projeto de pesquisa.

Para pesquisas futuras, há oportunidades a serem exploradas, como

- Desenvolver pesquisa quantitativa para validar o modelo explicativo, com base nos dados colhidos no site desenvolvido para diagnóstico da I4.0, apresentado no Apêndice D.

- Levantar componentes que possam integrar o modelo explicativo considerando:

- a) a maturidade da organização na adoção das tecnologias emergentes da I4.0;

- b) os modelos apresentados no Referencial Teórico, convergindo para um modelo holístico;

- c) o ambiente externo que a organização está inserida;

- d) as limitações de pesquisa listadas;
- e) os efeitos da servitização digital;
- f) os desafios que a liderança empresarial enfrenta com a adoção de tecnologias habilitadoras da I4.0;
- g) os efeitos de ordem macroeconômica e de políticas públicas na definição da perspectiva escolhida pela organização.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- AGCA, O. *et al.* **An Industry 4 Readiness Assessment Tool.** Disponível em: <[www.warwick.ac.uk/SCIP](http://www.warwick.ac.uk/SCIP)>. Acesso em: 18 fev. 2023.
- AGOSTINI, L.; FILIPPINI, R. Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. **European Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 3, p. 406–421, 2019.
- AKKERMANS, H.; VOS, B. Amplification in service supply chains: An exploratory case study from the telecom industry. **Production and Operations Management**, v. 12, n. 2, p. 204–223, 2003.
- ALAO, B. B.; GBOLAGADE, O. L. An Assessment of How Industry 4.0 Technology is Transforming Audit Landscape and Business Models. **International Journal of Accounting**, v. 3, n. 10, 2019.
- ALEXANDRE, R., ISABELLE W., MICHELET K. Is SAM still alive? A bibliometric and interpretive mapping of the strategic alignment research field. **Journal of Strategic Information Systems**, v. 25, n. 2, p. 75-103, 2016.
- AMARILLI, F.; VAN DEN HOOFF, B.; VAN VLIET, M. Business-IT alignment as a coevolution process: An empirical study. **The Journal of Strategic Information Systems**, v. 32, n. 2, p. 101776, 2023.
- AMJAD, M. S. *et al.* Blue Ocean 4.0 for sustainability – harnessing Blue Ocean Strategy through Industry 4.0. **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 36, n. 4, p. 797–812, 2 abr. 2024.
- ASLAM, F. *et al.* Innovation in the Era of IoT and Industry 5.0: Absolute Innovation Management (AIM) Framework. **Information**, v. 11, n. 2, p. 124, 24 fev. 2020.
- AVISON, D. *et al.* Using and validating the strategic alignment model. **Journal of Strategic Information Systems**, v. 13, n. 3, p. 223–246, 2004.
- AXMANN, B.; HARMOKO, H. Industry 4.0 Readiness Assessment: Comparison of Tools and Introduction of New Tool for SME. **TEHNICKI GLASNIK-TECHNICAL JOURNAL**, v. 14, n. 2, p. 212–217, 2020.
- AZMAN, N. A.; AHMAD, N. Technological capability in industry 4.0: a literature review for small and medium manufacturers challenges. **Journal of Critical Reviews**, v. 7, n. 8, p. 1429–1438, 2020.
- BAGNOLI, C.; DAL MAS, F.; MASSARO, M. The 4th industrial revolution: Business models and evidence from the field. **International Journal of E-Services and Mobile Applications**, v. 11, n. 3, p. 34–47, 2019.
- BHARADWAJ, A. *et al.* Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. **MIS Quarterly**, v. 37, n. 2, p. 471–482, 2013.

- BORGES, A. F. S. *et al.* The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. **International Journal of Information Management**, v. 57, n. September 2020, p. 102225, 2021.
- BRODBECK, A. F.; HOPPEN, N. Alinhamento Estratégico entre os Planos de Negócio e de Tecnologia de Informação: um Modelo Operacional para Implementação. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 7, n. 3, p. 9–33, 2003.
- BROZZI, R.; RIEDL, M.; MATTA, D. Key Readiness Indicators to Assess the Digital Level of Manufacturing SMEs. **Procedia CIRP**, v. 96, p. 201–206, 2020.
- BRYMAN, A.; BELL, E. **Business Research Methods**. 2. ed. [s.l.] Oxford University Press, 2007.
- BUCHI, G.; CUGNO, M.; CASTAGNOLI, R. Smart factory performance and Industry 4.0. **TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE**, v. 150, 2020.
- CHAN, Y. E. *et al.* Business Strategic Orientation, Information Systems Strategic Orientation, and Strategic Alignment. **Information Systems Research**, v. 8, n. 2, p. 125–150, jun. 1997.
- CHAUHAN, C.; SINGH, A.; LUTHRA, S. Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, 2021.
- CHIARINI, A. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. **TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 603–616, 2020.
- CHIARINI, A.; BELVEDERE, V.; GRANDO, A. Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. **Production Planning and Control**, v. 31, n. 16, p. 1385–1398, 2020.
- CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A. Defining SMEs' 4.0 Readiness Indicators. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, v. 10, n. 24, 2020.
- CONTRERAS, J. D.; GARCIA, J. I.; PASTRANA, J. D. Developing of Industry 4.0 Applications. **International Journal of Online Engineering**, v. 13, n. 10, p. 30–47, 2017.
- CORDEIRO, G. A.; ORDÓÑEZ, R. E. C.; FERRO, R. Theoretical proposal of steps for the implementation of the Industry 4.0 concept. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 166–179, 2019.
- ČREŠNAR, R.; POTOČAN, V.; NEDELKO, Z. Speeding up the implementation of industry 4.0 with management tools: Empirical investigations in manufacturing organizations. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 12, p. 1–25, 2020.
- CUI, T. *et al.* Information technology and open innovation: A strategic alignment perspective. **Information and Management**, v. 52, n. 3, p. 348–358, 2015.
- CULOT, G. *et al.* The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 157, 2020.
- DALKEY, N. **An experimental study of group opinion: The Delphi method**. *Futures*, 1969.

DEMETER, K.; LOSONCI, D. Business and technological perspectives of Industry 4.0 A framework for thinking with case illustration. **Vezetéstudomány-Budapest Management Review**, v. 51, n. 5, p. 2–14, 2020.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1999.

FAKHRI, A. B. *et al.* Industry 4.0: Architecture and Equipment Revolution. **CMC-COMPUTERS MATERIALS & CONTINUA**, v. 66, n. 2, p. 1175–1194, 2021.

FATHI, M.; GHOBAKHLOO, M. Enabling mass customization and manufacturing sustainability in Industry 4.0 Context: A novel heuristic algorithm for in-plant material supply optimization. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 16, 2020.

FIRMINO, A. S. *et al.* Towards Industry 4.0: a SWOT-based analysis for companies located in the Sorocaba Metropolitan Region (São Paulo State, Brazil). **Gestão & Produção**, v. 27, n. 3, p. 1–21, 2020.

FLEURY, A. Planejamento do Projeto de Pesquisa e Definição do Modelo Teórico. *Em: Metodologia da Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. [s.l: s.n.]. p. 33–45.

GAJDZIK, B.; WOLNIAK, R. Digitalisation and innovation in the steel industry in poland—selected tools of ict in an analysis of statistical data and a case study. **Energies**, v. 14, n. 11, 2021.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: Building the digital enterprise**. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>>.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 6, p. 910–936, 2018.

\_\_\_\_\_. Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 8, p. 2384–2405, 2020.

GHOBAKHLOO, M.; IRANMANESH, M. Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2021.

GILLANI, F. *et al.* Implementation of digital manufacturing technologies: Antecedents and consequences. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS**, v. 229, 2020.

GRAB, B.; OLARU, M.; GAVRIL, R. M. The impact of digital transformation on strategic business management. **Ecoforum Journal**, v. 8, n. 1, 2019.

GREMBERGEN, W. VAN (ED.). **Strategies for Information Technology Governance**. London: Idea Group Publishing, 2004.

GU, F. *et al.* An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 5, p. 1458–1477, 2019.

HAJOARY, P. K.; AKHILESH, K. B. **Conceptual Framework to Assess the Maturity and Readiness Towards Industry 4.0**ndustry 4.0 and Advanced Manufacturing: Proceedings of I-4AM 2019. **Anais...**Singapore: Springer, 2021

HENDERSON, J. C.; VENKATRAMAN, H. Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. **IBM Systems Journal**, v. 38, n. 2.3, p. 472–484, 1993.

HERNANDEZ-DE-MENENDEZ, M. *et al.* Competencies for Industry 4.0. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 14, n. 4, p. 1511–1524, 2020.

HIRSCHHEIM, R.; SABHERWAL, R. Detours in the Path toward Strategic Information Systems Alignment. **California Management Review**, v. 44, n. 1, p. 87–108, 2001.

HOA, H. T.; ANH, P. C.; PHONG, L. T. Contribution of manufacturing strategy to competitive performance of manufacturing companies: Empirical evidence from Vietnam. **Organizations and Markets in Emerging Economies**, v. 11, n. 22, p. 482–503, 2021.

JASKÓ, S. *et al.* Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard-and ontology-based methodologies and tools. **Computers in industry**, v. 123, 2020.

JOIA, L. A.; SOUZA, J. G. A. DE. Articulando modelos de alinhamento estratégico de tecnologia da informação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 7, n. 2, p. 253–269, 2009.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry Final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Frankfurt: [s.n.]. Disponível em: <<https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>>. Acesso em: 13 out. 2023.

KAMBLE, S. S. *et al.* A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs-A review and empirical investigation. **International journal of production economics**, v. 229, 2020.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. **Computers in Industry**, v. 101, p. 107–119, 2018.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. The balanced scorecard: Measures That drive performance. **Harvard Business Review**, v. 83, n. 7–8, 2005.

KAPPELMAN, L. *et al.* Key Issues of IT Organizations and Their Leadership: The 2013 SIM IT Trends Study. **MIS Quarterly Executive**, v. 12, n. 4, p. 227–240, 2013.

KARPOVSKY, A.; GALLIERS, R. D. Aligning in practice: From current cases to a new agenda. **Journal of Information Technology**, v. 30, n. 2, p. 136–160, 2015.

KEARNS, G. S.; SABHERWAL, R. Strategic alignment between business and information technology: A knowledge-based view of behaviors, outcome, and consequences. **Journal of Management Information Systems**, v. 23, n. 3, p. 129–162, dez. 2006.

KHANZODE, A. G. *et al.* Modeling the Industry 4.0 adoption for sustainable production in Micro, Small & Medium Enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 2021.

KO, E.; KINCADE, D.; BROWN, J. R. Impact of business type upon the adoption of quick response technologies - The apparel industry experience. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 9, p. 1093–1111, 2000.

KO, M. *et al.* An Assessment of Smart Factories in Korea: An Exploratory Empirical Investigation. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, v. 10, n. 21, 2020.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 12. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013.

KUMAR, R.; SINGH, R. K.; DWIVEDI, Y. K. Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 275, 2020.

KUMAR, S. *et al.* To identify industry 4.0 and circular economy adoption barriers in the agriculture supply chain by using ISM-ANP. **Journal of Cleaner Production**, v. 293, 2021.

KUMAR, S.; BHATIA, M. S. Environmental dynamism, industry 4.0 and performance: Mediating role of organizational and technological factors. **INDUSTRIAL MARKETING MANAGEMENT**, v. 95, p. 54–64, 2021.

KUMAR, V.; RAMACHANDRAN, D. Developing firms' growth approaches as a multidimensional decision to enhance key stakeholders' wellbeing. **International Journal of Research in Marketing**, v. 38, n. 2, p. 402–424, 2021.

KUMAR, V.; VRAT, P.; SHANKAR, R. Prioritization of strategies to overcome the barriers in Industry 4.0: a hybrid MCDM approach. **OPSEARCH**, v. 58, n. 3, p. 711–750, 2021.

LACITY, M. C.; WILLCOCKS, L. P. An empirical investigation of information technology sourcing practices: lessons from experience. **MIS quarterly**, v. 22, n. 3, p. 363–408, 1998.

LANDETA, J. Current validity of the Delphi method in social sciences. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 73, n. 5, p. 467–482, 2006.

LAURINDO, F. J. B. **Tecnologia da Informação: Planejamento e Gestão de Estratégias**. 2008. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. v. 1

LEE *et al.* Developing a Quick Response Product Configuration System under Industry 4.0 Based on Customer Requirement Modelling and Optimization Method. **Applied Sciences**, v. 9, n. 23, p. 5004, 20 nov. 2019.

LEE, C. K. M. *et al.* Smart robotic mobile fulfillment system with dynamic conflict-free strategies considering cyber-physical integration. **ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS**, v. 42, 2019.

LEE, H. L.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. The Bullwhip Effect in Supply Chains. **Journal of Operations Management**, v. 38, n. 4, p. 93–102, maio 1997.

LEIDNER, D. E.; KAYWORTH, T. A review of culture in information systems research: Toward a theory of information technology culture conflict. **Culture in IS Research MIS Quarterly**, v. 30, n. 2, p. 357–399, 2006.

LEONG, W. D. *et al.* Enhancing the adaptability: Lean and green strategy towards the Industry Revolution 4.0No Title. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 122870, 2020.

LI, Y.; DAI, J.; CUI, L. The impact of digital technologies on economic and environmental performance in the context of industry 4.0: A moderated mediation model. **International Journal of Production Economics**, v. 229, n. May 2019, p. 107777, 2020.

LIEBRECHT, C. *et al.* Decision support for the implementation of Industry 4.0 methods: Toolbox, Assessment and Implementation Sequences for Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 58, p. 412–430, 2021.

LIM, T. *et al.* An industrial case study on discrete event modelling of value stream mapping for Industry 4.0. **International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems**, v. 13, n. 1, p. 90–110, 2020.

LIN, T. C.; SHENG, M. L.; JENG WANG, K. Dynamic capabilities for smart manufacturing transformation by manufacturing enterprises. **Asian Journal of Technology Innovation**, v. 28, n. 3, p. 403–426, 2020.

LIN, T. C.; WANG, K. J.; SHENG, M. L. To assess smart manufacturing readiness by maturity model: a case study on Taiwan enterprises. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 33, n. 1, p. 102–115, 2020.

LINH, N. P. K.; KUMAR, V.; RUAN, X. Exploring enablers, barriers and opportunities to digital supply chain management in vietnamese manufacturing SMEs. **International Journal of Organizational Business Excellence**, v. 2, n. 2, p. 101–120, 2019.

LU, Y. **Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues** *Journal of Industrial Information Integration* Elsevier B.V., , 1 jun. 2017.

LUFTMAN, J. Assessing Business-IT Alignment Maturity. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 4, 2000.

LUFTMAN, J.; BRIER, T. Achieving and sustaining business-IT alignment. **California management review**, v. 42, n. 1, p. 109–122, 1999.

LUFTMAN, J.; LYYTINEN, K.; ZVI, T. BEN. Enhancing the measurement of information technology (IT) business alignment and its influence on company performance. **Journal of Information Technology**, v. 32, n. 1, p. 26–46, 1 mar. 2017.

LUFTMAN, J. N .; LEWIS, P. R .; OLDACH, S. H. Transforming the enterprise: The alignment of business and information technology strategies. **IBM Systems Journal**, v. 32, n. 1, p. 198–221, 1993.

MACHADO, C. G. *et al.* Digital organisational readiness: experiences from manufacturing companies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 32, n. 9, p. 167–182, 17 dez. 2021.

- MARQUES, M. *et al.* Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 9, n. 3, p. 299–313, 2017.
- MASON, S.; MERGA, M. A current view of the thesis by publication in the Humanities and Social Sciences. **International Journal of Doctoral Studies**, v. 13, p. 139–154, 2018.
- MCFARLAN, F. W. Information Technology Changes the Way You Compete. **Harvard Business Review**, v. 62, n. 3, p. 98–103, maio 1984.
- MEYER, U. The emergence of an envisioned future. Sensemaking in the case of “Industrie 4.0” in Germany. **Futures**, v. 109, p. 130–141, 1 maio 2019.
- MITROPOULOS, S. An integrated model for formulation, alignment, execution and evaluation of business and IT strategies. **International Journal of Business and Systems Research**, v. 15, n. 1, p. 90–111, 2021.
- MOHAMAD, E. *et al.* Investigation of The Awareness Level in Malaysia’s Manufacturing Industries on the Implementation of Industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering**, v. 6, n. 1, p. 53–66, 2021.
- MOLANO, J. I. R. *et al.* Metamodel for integration of internet of things, social networks, the cloud and industry 4.0. **Journal of ambient intelligence and humanized computing**, v. 9, n. 3, p. 709–723, 2018.
- MOURTZIS, D. *et al.* Product-service system (PSS) complexity metrics within mass customization and Industry 4.0 environment. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 97, n. 1–4, p. 91–103, 2018.
- MUGUTKAR, H.; KOHIR, V. V. Industrial internet of things an effective manufacturing strategy for 21st century. **International Journal of Current Engineering And Scientific Research**, v. 5, n. 4, p. 150–153, 2018.
- MULLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I. The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models-A comparison between SMEs and large enterprises. **EUROPEAN MANAGEMENT JOURNAL**, v. 39, n. 3, p. 333–343, 2021.
- NETHSINGHE, R.; SOUTHCOTT, J. A juggling act: Supervisor/candidate partnership in a doctoral thesis by publication. **International Journal of Doctoral Studies**, v. 10, p. 167–185, 2015.
- NOSALSKA, K. *et al.* Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 837–862, 2019.
- NOSALSKA, K. *et al.* Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 837–862, 2020.
- OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. D. The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications. **Information and Management**, v. 42, n. 1, p. 15–29, 2004.

OLIVEIRA, G. F.; GONÇALVES, R. F.; LAURINDO, F. J. B. **Strategic Alignment and Industry 4.0: An Exploratory Study with Eleven Companies** IFIP Advances in Information and Communication Technology. Anais... Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022

OLUYISOLA, O. E.; SGARBOSSA, F.; STRANDHAGEN, J. O. Smart production planning and control: Concept, use-cases and sustainability implications. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 9, 2020.

ORELLANA, F.; TORRES, R. From legacy-based factories to smart factories level 2 according to the industry 4.0. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 32, n. 4–5, p. 441–451, 2019.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.; TUCCI, C. L. Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 16, 2005.

OZ, E. Information technology productivity: in search of a definite observation. **Information & Management**, v. 42, n. 6, p. 789–798, set. 2005.

PACCHINI, A. P. T. *et al.* The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 113, p. 103125, 2019.

PARHI, S.; JOSHI, K.; AKARTE, M. Smart manufacturing: a framework for managing performance. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 34, n. 3, p. 227–256, 2021.

PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **IENCI - Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213–227, 1999.

PILL, J. The Delphi method: Substance, context, a critique and an annotated bibliography. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 5, n. 1, p. 57–71, 1971.

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 1045–1083, 2020.

PORTR, M. E. **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. New York: Simon & Schuster Inc, 2008.

PORTR, M. E.; HEPPELMANN, J. E. How smart, connected products are transforming companies. **Harvard Business Review**, v. 2015, n. October, 2015.

PORTR, M. E.; MILLAR, V. E. How information gives you competitive advantage. **Harvard Business Review**, v. 63, n. 4, p. 149–152, 1985.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAJ, A. *et al.* Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspectiveNo Title. **International Journal of Production Economics**, v. 224, p. 107546, 2020.

REICH, B. H.; BENBASAT, I. Measuring the Linkage between Business and Information Technology Objectives Business and IT Linkages Measuring t he Linkage. **Source: MIS Quarterly**, v. 20, n. 1, p. 55–81, 1996.

REIS, J. Z. *et al.* **Business Models for the Internet of Services: State of the Art and Research Agenda** Future InternetMDPI, , 1 mar. 2022.

RENDÀ, ANDREA. *et al.* **Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry.** [s.l: s.n.].

REYNOLDS, P.; YETTON, P. Aligning business and IT strategies in multi-business organizations. **Journal of Information Technology**, v. 30, n. 2, p. 101–118, 2015.

ROCHA, C. F. *et al.* R&D collaboration strategies for industry 4.0 implementation: A case study in Brazil. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 63, p. 101675, jan. 2022.

ROGERS, D. L. **The Digital Transformation Playbook: Rethink Your Business for the Digital Age.** New York: Columbia University Press, 2016.

ROUSSEAU, D.; MANNING, J.; DENYER, D. Evidence in Management and Organizational Science: Assembling the Field's Full Weight of Scientific Knowledge Through Syntheses. **Academy of Management Annals**, v. 2, n. 1, p. 475–515, 2008.

RUMELT; RICHARD. **Good Strategy/Bad Strategy.** London: PROFILE BOOKS, 2011.

RYMASZEWSKA, A.; HELO, P.; GUNASEKARAN, A. IoT powered servitization of manufacturing – an exploratory case study. **International Journal of Production Economics**, v. 192, p. 92–105, 1 out. 2017.

SABHERWAL, R.; CHAN, Y. E. Alignment Between Business and IS Strategies: A Study of Prospectors, Analyzers, and Defenders. **Information Systems Research**, v. 12, n. 1, p. 11–33, mar. 2001.

SALAM, M. A. Analyzing manufacturing strategies and Industry 4.0 supplier performance relationships from a resource-based perspective. **Benchmarking: An International Journal**, v. 28, n. 5, p. 1697–1716, 2019.

SANTOS, B. P. *et al.* The Synergic Relationship Between Industry 4.0 and Lean Management: Best Practices from the Literature. **Management and Production Engineering Review**, v. 12, n. 1, p. 94–107, 2021.

SAYÃO, L. F. Modelos Teóricos em Ciência da informação: abstração e método científico. **Ciência da Informação**, v. 30, n. 1, p. 82–91, 2001.

SCHLOSSER, F. *et al.* Achieving social alignment between business and IT - An empirical evaluation of the efficacy of IT governance mechanisms. **Journal of Information Technology**, v. 30, n. 2, p. 119–135, 2015.

SCHNEIDER, F. *et al.* How can science support the 2030 Agenda for Sustainable Development? Four tasks to tackle the normative dimension of sustainability. **Sustainability Science**, v. 14, n. 6, p. 1593–1604, 1 nov. 2019.

- SCHUH, G. G. *et al.* Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. **Acatech Study**, p. 64, 2020.
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 161–166, 2016.
- SILVA, W. C. *et al.* Modelo de Arquitetura Corporativa para a Indústria 4.0: Análise para o alinhamento estratégico da tecnologia da informação com o negócio. **Revista Eletrônica & Negócios**, v. 13, n. 2, p. 70–103, 2020.
- SILVEIRA, G. DA; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. Mass customization: Literature review and research directions. **International Journal of Production Economics**, v. 72, n. 1, p. 1–13, 2001.
- SINGH, S.; MAHANTY, B.; TIWARI, M. K. Framework and modelling of inclusive manufacturing system. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 32, n. 2, p. 105–123, 2019.
- ŚLUSARCZYK, B. Industry 4.0: Are we ready? **Polish Journal of Management Studies**, v. 17, n. 1, p. 232–248, 2018.
- SOLLI, K.; NYGAARD, L. P. The doctorate in pieces: a scoping review of research on the PhD thesis by publication. **Higher Education Research and Development**, 2022.
- SOLOW, R. M. We'd better watch out. **New York Times Book Review**, 1987.
- SOMEKH, B.; LEWIN, C. **Research Methods in the Social Sciences**. London: Sage Publications, 2005.
- SONY, M.; NAIK, S. Key ingredients for evaluating Industry 4.0 readiness for organizations: a literature review. **Benchmarking: An International Journal**, 2019.
- SOOMRO, M. A. *et al.* Embracing industry 4.0: Empirical insights from Malaysia. **Informatics**, v. 8, n. 2, 2021a.
- \_\_\_\_\_. Industry 4.0 Readiness of Technology Companies: A Pilot Study from Malaysia. **ADMINISTRATIVE SCIENCES**, v. 11, n. 2, 2021b.
- SOUZA, MARCOS LEANDRO HOFMANN *et al.* A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, n. February, p. 133–156, 2020.
- SOUZA, M. L. H. *et al.* A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, p. 133–156, 2020.
- SOUZA, M. T. DE; SILVA, M. DA S.; CARVALHO, R. DE. **Revisão integrativa: o que é e como fazer**. São Paulo: [s.n.].
- STEBBINS, R. A. **Exploratory Research in the Social Sciences: Qualitative Reserach Methods Series**. Thousand Oaks: Sage University Paper, 2001. v. 48

- TANG, Y. M. *et al.* Industry 4.0 technology and circular economy practices: business management strategies for environmental sustainability. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 33, p. 49752–49769, 26 jul. 2022.
- TEO, T. S. H.; KING, W. R. Integration between Business Planning and Information Systems Planning: An Evolutionary-Contingency Perspective. **Journal of Management Information Systems**, v. 14, n. 1, p. 185–214, 1997.
- TOLEDO, L. A.; SHIASHI, G. DE F. Vista do Estudo de caso em pesquisas exploratórias qualitativas: um ensaio para a proposta de protocolo do estudo de caso. **Revista Da FAE**, v. 12, n. 1, p. 103–119, 2009.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003.
- TRIPATHI, S.; GUPTA, M. Indian supply chain ecosystem readiness assessment for Industry 4.0. **International Journal of Emerging Markets**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2021.
- TRSTENJAK, M. *et al.* Process Planning in Industry 4.0-Current State, Potential and Management of Transformation. **SUSTAINABILITY**, v. 12, n. 15, 2020.
- TYAS, W. P.; HUTAMA, J. K. P. Strategy and innovation of home based enterprises for local development in the 4.0 era: A bibliographic study. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 673, n. 1, p. 0–14, 2021.
- ULLAH, A.; LAI, R. A systematic review of business and information technology alignment. **ACM Transactions on Management Information Systems**, v. 4, n. 1, 2013.
- VEILE, J. W. *et al.* **How to implement industry 4.0? An empirical analysis of lessons learned from best practices**, 2018.
- VIAL, G. **Understanding digital transformation: A review and a research agenda** *Journal of Strategic Information Systems*. Elsevier B.V., , 1 jun. 2019.
- VILLALBA-DIEZ, J. *et al.* Characterization of Industry 4.0 Lean Management Problem-Solving Behavioral Patterns Using EEG Sensors and Deep Learning. **Sensors**, v. 19, n. 13, 2019.
- XU, X. *et al.* Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530–535, 1 out. 2021.
- WEILL, P.; ROSS, J. W. **IT governance: How top performers manage IT decision rights for superior results**. Boston: Harvard Business Press, 2004.
- WHETTEN, D. A. O Que Constitui uma Contribuição Teórica? **RAE - Revista de Administração de Empresas**, v. 43, n. 3, p. 69–73, 2003.
- WILLIAMS, J. A.; TORRES, H. G.; CARTE, T. A Review of IS Strategy Literature: Current Trends and Future Opportunities. **Journal of Computer Information Systems**, v. 62, n. 1, p. 1–11, 2022.

YAQUB, M. Z.; ALSABBAN, A. Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects, Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies. **Sustainability**, v. 15, n. 11, p. 8553, 25 maio 2023.

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

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**, 2001.

ZANT, C. EL *et al.* A design methodology for modular processes orchestration. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 35, p. 106–117, 2021.

ZAWADZKI, P.; ZYWICKI, K. Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 3, p. 105–112, 2016.

ZHENG, T. *et al.* The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 6, p. 1922–1954, 2021.

ZOUBEK, M.; SIMON, M. Evaluation of the Level and Readiness of Internal Logistics for Industry 4.0 in Industrial Companies. **Applied Sciences-Basel**, v. 11, n. 13, 2021.

## APÊNDICE A – ARTIGO 1



### Technology Analysis & Strategic Management

**Towards Strategic Alignment in Industry 4.0 and 5.0: A Systematic Review, Taxonomy, and Exploration of Research Opportunities**

<b>Submission ID</b>	243864160
<b>Article Type</b>	Systematic Review
<b>Keywords</b>	Industry 4.0, Industry 5.0, Strategic Alignment, Digital Transformation
<b>Authors</b>	Gilberto Francisco de Oliveira, Ana Lúcia Facin, Fernando Jose Barbin Laurindo, Rodrigo Gonçalves

For any queries please contact:

CTAS-peerreview@journals.tandf.co.uk

Note for Reviewers:

To submit your review please visit <https://mc.manuscriptcentral.com/CTAS>

Strategic Alignment in Industry 4.0 and 5.0

## Towards Strategic Alignment in Industry 4.0 and 5.0:

## A Systematic Review, Taxonomy, and Exploration of Research Opportunities

Gilberto Francisco de Oliveira<sup>a</sup>, Ana Lúcia Figueiredo Facin<sup>b</sup>, Fernando José Barbin Laurindo<sup>c</sup>, Rodrigo Franco Gonçalves<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil

<sup>b</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil

<sup>c</sup>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>d</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil

## ABSTRACT

The literature has consolidated views regarding the application of Industry 4.0 enabling technologies. However, the intricacy and accompanying expenses have prompted researchers to scrutinize ensuring that the advantages justify the investments. Societal pressure, exemplified by initiatives such as those by the European Commission, has led to the emergence of Industry 5.0 to realize value with reduced societal and environmental impact. Strategic alignment with emerging technologies has become crucial in the contemporary business landscape. This study explores the role of strategic alignment in successfully implementing Industry 4.0 technologies and evaluates Industry 5.0 concepts' potential in addressing limitations in achieving effective strategic alignment within manufacturing. With a systematic taxonomy, the present study examines existing literature on these emerging technologies, highlighting key areas of opposition and challenges. A systematic literature review of 97 articles was conducted to investigate the approach to integrating emerging technologies with organizational strategy.

**Keywords:** Industry 4.0, Industry 5.0, Strategic Alignment

## 1. Introduction

The Industry 4.0 (I4.0) can be defined as the gradual combination of digital manufacturing and cutting-edge industrial practices. The core of I4.0 is vertical and horizontal integration and the union of physical and virtual worlds (Ghobakhloo & Fathi, 2020). I4.0 fosters the integration of emerging technologies to achieve production objectives such as flexibility, customization, agility, and high efficiency, transforming traditional manufacturing into smart factories (Lee et al., 2019).

Despite production objectives, there is some doubt if the implementation of I4.0 enabling technologies, in fact, represents a competitive advantage (Culot et al., 2020). In other words, if there is no alignment of strategic decisions between business and technologies, the

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

organization risks having more significant costs than benefits in its digital initiatives (Agostini & Filippini, 2019). Therefore, I4.0-enabling technologies are intrinsically challenging, as they carry uncertainties and require significant investments (El Zant et al., 2021). In this sense, it opens space to consider the change of direction from a technicist vision of I4.0 towards a value-oriented vision with Industry 5.0 (I5.0) (Xu et al., 2021). While I4.0 is mainly technology-oriented, I5.0 focuses on "supporting and fostering socially and ecologically relevant values" (Müller, 2020) and providing a more resilient production (Ghobakhloo et al., 2024).

Based on the growing relevance of this discussion on the strategy of manufacturing companies, the following research questions will be discussed in this paper:

RQ 1: How is strategic alignment achieved in adopting I4.0 and I5.0 technologies, and what are the leading research publications?

RQ 2: How the emergence of I5.0 impacts the strategic field?

The present study analyses the implications of strategic alignment when implementing I4.0 technologies. Furthermore, it critically evaluates I5.0 concepts to assess their potential for addressing limitations in achieving effective strategic alignment. A systematic review establishes a taxonomy of the lines of thought concerned with I4.0 or I5.0 and its relations with strategic alignment.

The structure of this present study comprises the following: The Background section provides a theoretical basis on strategic alignment, I4.0 and I5.0. The Methodology section describes the systematic review of applied literature and the sample analysis. Content Analysis Findings discusses the results found and proposes a model to represent the identified lines of thought, which allows for answering the research questions. Lastly, the conclusion, constraints, and avenues for future research are delineated.

## **2. Background**

### **2.1.Strategic Alignment**

The discussion around technology's role and impact on organizations persists despite the advent of the digital era, encompassing both I4.0 and the more recently I5.0 (Ciacci et al., 2024). Organizational struggles to generate value from technology investments highlight a failure in strategic alignment between information technology (IT) and business (Borges et al., 2021). It is widely acknowledged that strategic alignment and effective IT actions positively impact business performance (Keams & Sabherwal, 2006). Luftman et al. (1993) propose that business and technology alignment occurs when strategies enable, support, and drive business objectives. In this way, it denotes the integration between corporate and IT strategies (Joia & Souza, 2009), and is present when the set of IT strategies is derived from the organizational strategic set (Brodbeck & Hoppen, 2003). Strategic alignment, depicted as a dynamic and

35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4  
5 evolutionary process, underscores its reciprocal nature: business strategy shapes IT strategy and  
6 vice versa (Joaia & Souza, 2009).  
7  
8  
9

10       **2.2.Industry 4.0**  
11  
12  
13

14       I4.0 revolutionizes production architecture by connecting machines and systems,  
15       fostering customer-oriented approaches (Nosalska et al., 2020; Zheng et al., 2021). Unlike mere  
16       digitalization, I4.0 emphasizes intelligent systems integrating machines, factories, and  
17       processes (Chiarini et al., 2020). These technologies enable autonomous information exchange,  
18       decision-making, and control (El Zant et al., 2021), increasing productivity, reducing energy  
19       consumption, and improving production conditions (Fakhri et al., 2021). Moreover, they  
20       facilitate vertical and horizontal integrations, linking people, machines, and resources across  
21       supply chains (Ghobakhloo & Fathi, 2020; Machado et al., 2021).  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29

30       **2.3.Industry 5.0 (I5.0)**  
31  
32  
33  
34

35       According to the European Commission's consensus, I5.0 emphasizes the integration of  
36       social and environmental priorities into technological innovation (Goujon et al., 2024), shifting  
37       from individual technologies to a systemic approach (Renda et al., 2022; Xu et al., 2021). New  
38       digital technologies are disrupting traditional business models and operations, necessitating  
39       investment in modern technology and digital management for manufacturing and product  
40       delivery processes (Ślusarczyk, 2018; Nimawat & Gidwani, 2020)  
41  
42

43       **3. Methodology**  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52

53       Following the methodology proposed by Rousseau et al. (2008), the systematic literature  
54       review was conducted in three steps: review planning, conduction, and report. These steps  
55       ensure research rigor, transparency, and replicability. Section 4 ('Content analysis findings')  
56       presents the systematic review results, while the other steps are elaborated upon below.  
57  
58

59       When planning the systematic review, the search string ('Industry 4.0' AND Strateg\*)  
60       OR ('Industry 5.0' AND Strateg\*) and the databases (Web of Science and Scopus) were  
61       predetermined, yielding 5,129 articles. Screening criteria included English language and  
62       specific subject areas related to smart manufacturing, business models, innovation, I4.0  
63       framework, strategy, and I5.0, resulting in 1,277 articles. After removing duplicates, 97 articles  
64       remained for further analysis, focusing on the relationship between I4.0 or I5.0 and strategy.  
65       Notably, nine articles addressed I5.0 and strategy. The review process stages are illustrated in  
66       Figure 1.  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80

**Strategic Alignment in Industry 4.0 and 5.0**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

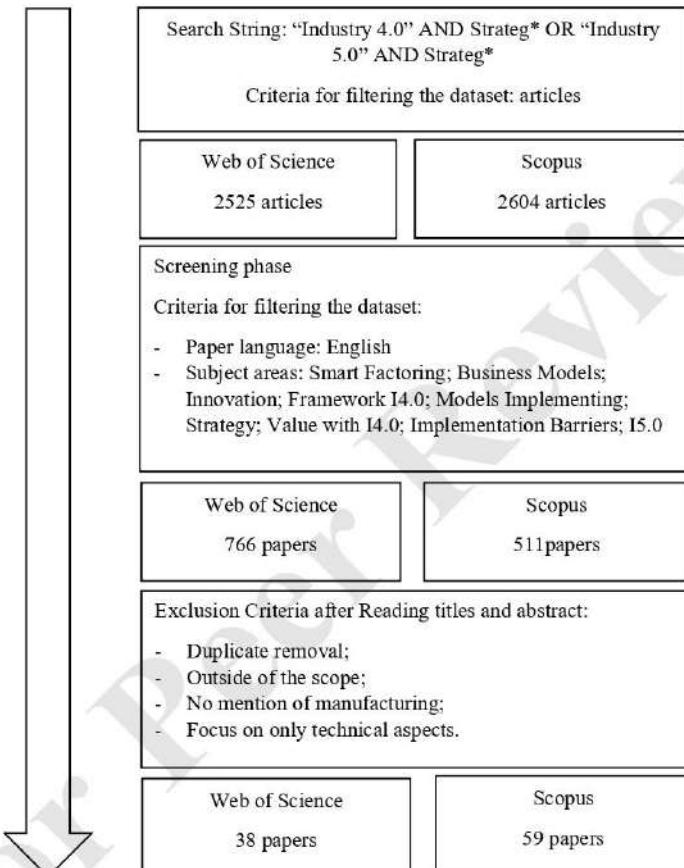


Figure 1. Literature review systematic process strategy

35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

### 3.1 Sample analysis

Table 1 lists the journals associated with the 97 selected articles and their distribution across 2019 to 2024, indicating a growing interest in the topic. The data reveals 64 journals,

with ten of them representing 38% of the surveyed articles. The journals span various fields including manufacturing, automation, computing, economics, innovation, and sustainability, highlighting the interdisciplinary nature of research on I4.0 and I5.0 from a strategic perspective.

Tabel 1. Journals researched and quantity of the papers per year (2019-2024)

Journal Name	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Sustainability	2		2	4			8
Journal of Manufacturing Technology Management	1	3	1				5
International Journal of Production Economics	4						4
Journal of Cleaner Production		1	1	2			4
Journal of Manufacturing Systems	1	3					4
Business Strategy and the Environment			1	2			3
Technological Forecasting Social Change	1		1	1			3
Applied Sciences	1		1				2
Benchmarking-an International Journal				2			2
Computers and Industrial Engineering				2			2
54 other journals	8	6	12	17	15	2	60
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>97</b>

The total citations from the sample papers amount to 5029, with 42.1% attributed to 5 key articles, as outlined in Table 2. The paper summaries focus on defining and delimiting concepts such as I4.0, I5.0, barriers to I4.0 implementation, manufacturing units' readiness for I4.0, and mass customization for end-to-end integration.

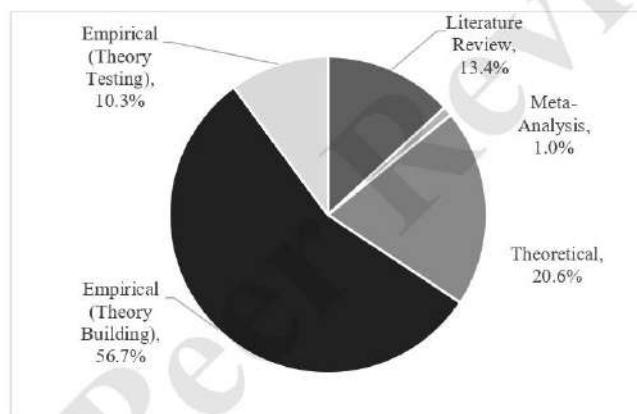
Table 2. The five most cited authors

Authors	Citations	Resume
Xu et al., 2021	653	According to the authors, I4.0 prioritizes technology-driven initiatives, whereas I5.0 emphasizes value-driven approaches.
Raj et al., 2020	516	This study investigates the obstacles hindering the implementation of Industry 4.0 technologies.
Büchi, Cugno, and Castagnoli, 2020	406	This study investigates the causal effect of the degree of openness on performance through an empirical analysis utilizing a sample of local manufacturing units.
Osterrieder, Budde, and Friedli, 2020	288	They conducted a systematic literature review to consolidate the previous findings around smart factory

1  
2  
3  
4  
5 Lu, Xu, and Wang, 256 In this article, a thorough review of production  
6 2020 automation standards is provided, emphasizing end-to-end integration for mass customization and  
7  
8 responsive factory automation

---

9  
10 Empirical articles predominated in the analyzed sample, particularly focusing on theory  
11 building through framework proposals (56.7%) rather than theory testing (10.3%). The  
12 literature review and theoretical aspects accounted for 34% of the articles, revealing a lack of  
13 consolidated statements on strategy and I4.0 or I5.0 due to the novelty and unconsolidated  
14 nature of the topic. Only around 1% of the articles were classified as Meta-Analysis, as  
15 illustrated in Figure 2.



35  
36  
37 Figure 2. Distribution of articles by paper type  
38  
39  
40

#### 4. Content analysis findings

41 The literature review identified key aspects categorized into three groups: Lines of Thought,  
42 Diverging Topics on Strategic Alignment (Industry 4.0 & 5.0), and Challenges of Strategic  
43 Alignment. Subsequent subtopics will discuss each group in detail.  
44  
45  
46

##### 4.1 Lines of Thought

47 In the analyzed sample, five main lines of thought were identified on how organizational  
48 strategy interacts with and is influenced by I4.0 and I5.0. This interaction, named strategic  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4  
5 alignment following Mitropoulos (2021), entails synchronizing technological decisions with  
6 business strategy.  
7  
8  
9

10 4.1.1 Technological Initiative  
11  
12

13 **Technological Initiative** is one of the lines considering that strategic alignment  
14 involves integrating innovative technologies into current operations to boost efficiency and cut  
15 costs (Chauhan et al., 2021; Fathi & Ghobakhloo, 2020). However, investments in I4.0 serve  
16 as entry barriers or responses to competition, demanding substantial upfront costs and limiting  
17 access to financially capable firms (Liebrecht et al., 2021). Consequently, competitive  
18 advantages from I4.0 investments are often short-lived, with companies either satisfied with  
19 current outcomes or uncertain about I4.0's economic benefits due to its nascent stage (Singh et  
20 al., 2019; Raj et al., 2020).  
21  
22  
23  
24

25 4.1.2 Technological Business Model  
26  
27

28 The integration of innovative technologies shapes new business models and operational  
29 procedures to enhance I4.0 capabilities. In **Technological Business Model**, the market  
30 orientation drives investments in I4.0 (Kafetzopoulos & Katou, 2023). Companies identify  
31 strategic enhancements by devising alternative production and sales approaches (Grab et al.,  
32 2019). Technological choices guide the differentiation of business processes, with performance  
33 measured by metrics such as inventory reduction and shortened time-to-market (Sabherwal &  
34 Chan, 2001; Bouchard et al., 2022). Emerging technologies enable smart factory models with  
35 a make-to-order strategy (Lee et al., 2022). Vertical integration fosters connectivity between  
36 physical assets and information systems, enabling adaptable manufacturing operations (El Zant  
37 et al., 2021; Ko et al., 2020; Parhi et al., 2021). I4.0 applications enhance connectivity and  
38 mobility across the supply chain, increasing reliance on suppliers (Jaskó et al., 2020). Standardizing  
39 systems integration protocols facilitates provider interchangeability (Kumar &  
40 Tiwari, 2021; Liebrecht et al., 2021). Integrating I4.0 into cohesive ecosystems enhances  
41 effectiveness (Hoffmann et al., 2020).  
42  
43

44 4.1.3 Digital Innovation  
45

46 The systematic review identifies a perspective "emphasizing innovation and  
47 differentiation" as crucial elements of strategic alignment. Organizations adopting the **Digital**  
48 **Innovation** approach do not just adopt innovative technologies; they leverage them to create  
49 unique products, services, and business models. Digital design processes, agile methodologies,  
50 intelligent systems like CAx and augmented reality, are used to innovate efficiently (Bordron  
51 et al., 2019; Boyer & Kokosy, 2022; Sun et al., 2020). This strategy advances product  
52 development and fosters efficiency and novelty (Muller et al., 2021). Both open innovation  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

(Rocha et al., 2022) and technology-push and market-pull strategies (Boyer & Kokosy, 2022) benefit from I4.0 advancements.

#### 4.1.4 Digital Ecosystems

The fourth area, **Digital Ecosystems**, highlights the growing importance of innovation and collaborative ecosystems in achieving competitive advantage. Strategic alignment involves forming partnerships with other firms to develop innovative solutions and to explore new markets. There is a shift from I4.0 to I5.0, aiming to enhance customer value. Innovation is crucial for gaining a competitive edge, with a focus on IoT-driven innovation ecosystems for future readiness (Aslam et al., 2020). Collaboration with partners and customer integration in value creation are emphasized (Sabioni et al., 2021). Trust, collaboration, and flexibility, along with shared incentives, mitigate risks and encourage innovation (Pfaff, 2023). I5.0 adopts a human-centric approach, fostering collaboration between technology and humans to enhance customer interactions and innovation (Suciu et al., 2023; Babkin et al., 2022; Mehdiabadi et al., 2022). While I4.0 focuses on technology, I5.0 prioritizes value creation (Xu et al., 2021).

#### 4.1.5 Digital Holistic

Lastly, the fifth line of thought, **Digital Holistic**, emphasizes the necessity of integrating sustainability and social responsibility into strategic alignment within the context of I5.0. While not linked to I4.0 in terms of green manufacturing, recycling, remanufacturing, and green design (Tang et al., 2022), corporations prioritize sustainability to establish unique market positions (Amjad et al., 2024; Mukhutty et al., 2022). Organizations are urged to adopt a comprehensive approach to strategic alignment, considering not only the economic sustainability impact but also the social and environmental ramifications of their I4.0 initiatives. Key themes within this domain include utilizing technologies for sustainable manufacturing, implementing remanufacturing systems (Mejía-Moncayo et al., 2023), and adopting circular product-system approaches (Bui et al., 2023; Gu et al., 2019). Examples include efforts to mitigate CO<sub>2</sub> emissions across the supply chain, remanufacture electrical batteries, and employ non-invasive wearable devices for monitoring physiological parameters, demonstrating a holistic digital perspective (Ivanov, 2023; Khamaisi et al., 2022; Mejía-Moncayo et al., 2023).

Figure 3 presents a triangular model to synthesize the lines of thought identified through the systematic literature review. This structure signifies a progressive framework, with the base representing the foundational concept of the "Technological Initiative". Subsequent layers depict increasingly advanced stages, culminating in the "Digital Holistic" approach.

The analysis revealed a distinct emphasis on I5.0 concepts within the "Digital Ecosystems" and "Digital Holistic" research topics. To illustrate this influence, the model incorporates directional arrows that depict the increasing levels of influence of I4.0 and I5.0 as one progresses through the strategic alignment journey.

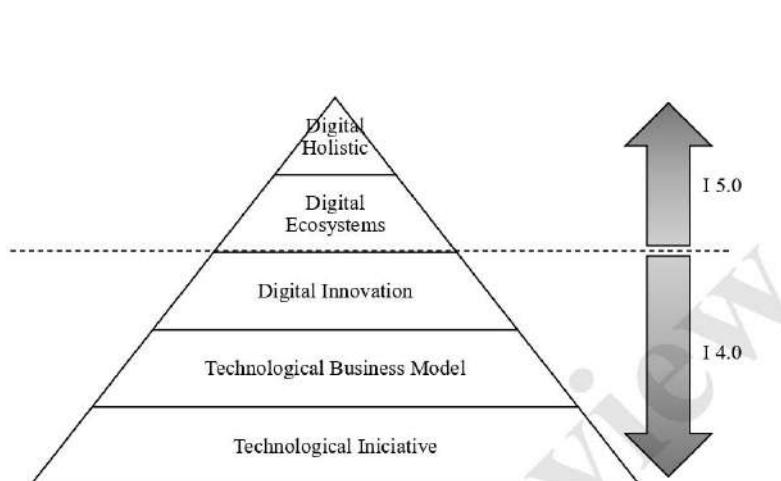


Figure 3. Representative model of the research topics raised in a systematic literature review.

#### 4.2. Divergent topics on strategic alignment and I4.0 and I5.0

The Systematic Review has revealed various divergent topics concerning on strategic alignment with both I4.0 and I5.0, which are delineated below into five distinct topics.

##### 4.2.1 Optimistic and skeptical

Optimists perceive both I4.0 and I5.0 as catalysts for transforming business models, as evidenced by assorted studies (Fakhri et al., 2020; Muller et al., 2021; Soomro et al., 2021; Wang & Hsu, 2021), offering new avenues for sustainable growth (Büchi et al., 2020; Yaqub & Alsabban, 2023). Digital technologies facilitate the adoption of novel business models, emphasizing mass customization and product diversification (Fathi & Ghobakhloo, 2020; Lu et al., 2020).

In contrast, skeptics advocate for a cautious approach, stressing the need to assess the benefits against the costs and challenges of I4.0 implementation (Santos et al., 2021). They underscore the importance of aligning people, processes, and technologies for successful implementation, emphasizing internal alignment efforts (Kumar et al., 2021). Intrinsic factors are also acknowledged as potential barriers to adopting emerging technologies and require attention on organizational agendas (Chauhan et al., 2021). Pursuing faster and more efficient processes is essential for gaining a competitive edge (Machado et al., 2021). Consequently, companies investing in I4.0 enabling technologies tend to move away from a solely cost-focused strategic approach (Stentoft et al., 2021). Moreover, I5.0 arises from a more skeptical

perspective, highlighting the necessity of a clear value proposition for organizations to embrace innovative technology solutions (Xu et al., 2021).

#### 4.2.2 Focus on efficiency and focus on innovation

Certain authors argue that strategic alignment with I4.0 should prioritize efficiency, to maximize production efficiency, minimize costs, and satisfy individual human needs for products and services (Fakhri et al., 2020). This includes efforts to optimize material supply for overall production cost efficiency, such as reducing transportation costs and streamlining material allocation on production lines while adhering to specific constraints (Fathi & Ghobakhloo, 2020). Additionally, minimizing human errors and energy consumption is emphasized to enhance productive efficiency (Orellana & Torres, 2019).

Conversely, a focus on innovation accents the value of both I5.0 and I4.0 in driving innovation (Mejia-Moncayo et al., 2023). Adopting innovative technologies is crucial in creating or modifying products, processes, techniques, and expanding the manufacturing infrastructure (Soomro et al., 2021), thus reshaping businesses (Muller et al., 2021). It is emphasized that value addition results from how technologies are utilized, rather than solely from their adoption (Rocha et al., 2022).

#### 4.2.3 Top-down and bottom-up decision making

Supporters of the hierarchical top-down approach advocate for management's significant role in driving I4.0 initiatives (Cordeiro et al., 2019; Grab et al., 2019). This strategic management model requires organizational adjustments to achieve specific goals within the I4.0 (Ghobakhloo, 2020; Kumar, 2023; Oluyisola et al., 2020). Emphasizing top management's commitment and the formulation of a clear strategic roadmap are pivotal factors for successful implementation (Ghobakhloo, 2020; Kumar et al., 2021; Oluyisola et al., 2020). Notably, Aslam et al. (2020) even associate top-down planning with an innovation-centric approach, potentially aligning it with I5.0 principles.

Some studies propose a decentralized approach to I4.0 implementation, emphasizing the effectiveness of empowered operational teams (Gillani et al., 2020). These studies consider the adaptability of such teams in addressing implementation challenges (Gupta et al., 2022), while recognizing the supportive role of top management in navigating the complexities of I4.0-driven digital transformation (Abdullah et al., 2022).

#### 4.2.4 Focus on the short term and focus on the long term

Organizations prioritizing rapid implementation of I4.0 and I5.0 technologies also emphasize swift outcomes (Ghobakhloo, 2018; Mehdiabadi et al., 2020). Implementation

complexity (Kumar & Bhatia, 2021) and significant investments (El Zant et al., 2021) contribute to the expedited adoption of emerging technologies.

Conversely, organizations must achieve higher maturity levels to explore sustainability in implementation, particularly when considering human-machine collaboration within intelligent cyber-social systems, as proposed by I5.0 (De Alwis et al., 2023; Babkin et al., 2022). Changes resulting from enabling technologies significantly impact business models, products, and services, necessitating a gradual evolution process (Lee et al., 2022). Overemphasis on innovative technologies disregards the need for comprehensive assessment and strategy integration (Gallego-García et al., 2022). Furthermore, the historical marginalization of the IT function in some industrial organizations is being challenged by the emergence of recent technologies, highlighting the need for adaptation (Kumar, 2023).

#### 4.2.5 Customer emphasis and process emphasis

Authors with a customer focus on strategic alignment analyze responses to environmental dynamism (Psarommatis, 2021). They explore various strategic frameworks for achieving competitive advantage, including differentiation strategies (Pasi et al., 2023), cost leadership strategies (Stentoft et al., 2021), the Resource-Based View (Bag et al., 2021), and Dynamic Capabilities (Lin et al., 2020). These approaches aim to develop unique capabilities complex for competitors to replicate, such as adding, modifying, or reconfiguring resources or competencies (Chirumalla, 2021). Notably, I5.0 aligns well with this focus on customer value creation (Xu et al., 2021).

Authors also stress the significance of internal processes, focusing on integrating emerging technologies into production systems. These technologies are seen as strategic for enhancing efficiency, flexibility, responsiveness, and personalization (Gillani et al., 2020). For instance, I4.0 enabling technologies provide real-time transparency across the supply chain, facilitating quicker decision-making (Fakhri et al., 2020). As a result, I4.0 implementation is linked to reduced transaction costs and improved response times (Weking et al., 2020), accentuating the potential benefits that justify the commitment and effort required for successful implementation (Sayem et al., 2022).

Table 3 provides the divergent lines of thought in strategic alignment and the references that support the findings.

Table 3. Summary of different lines of thought on strategic alignment, I4.0, and I5.0

I5.0	I4.0	Lines of Thought	I4.0	I5.0
(Yaqub & Alsabban, 2023)	(Fahdri et al., 2020) (Bichi et al., 2020)	The authors advocate for the transformation of business models.	Optimist Skeptical	The authors contend that the potential costs of change might surpass the benefits.
	(Fathi & Ghobakhloo, 2020)	The objective is to minimize waste and expenses while maximizing productivity.	Efficiency Innovation	Emerging technologies have the potential to stimulate the development of novel products and services.
	(Cordero et al., 2019)	Leadership is responsible for making investment decisions and planning initiatives.	Top-down Bottom-up	Initiation must originate from the operational sector.
	(Kumar & Bathia, 2021)	Substantial investments in emerging technologies exert pressure for more immediate outcomes.	Short term Long term	Maturity plays a pivotal role in attaining superior outcomes from innovative technologies.
	(Psaromatis, 2021) (Xu et al., 2021)	Strategic alignment is analyzed as a response to environment.	Customer Process	The emphasis lies in the analysis of process enhancement and technological resolutions.

### 4.3 Challenges of strategic alignment

The Systematic Literature Review enabled a comprehensive examination of strategic alignment, elucidating challenges across four primary areas:

#### 4.3.1 Diversity of sources and disciplines

The literature on I4.0, I5.0, and alignment spans multiple disciplines, including Engineering (Clancy et al., 2020; Ivanov, 2023), Management (Ghobakhloo & Fathi, 2020; Kumar & Bhatia, 2021), Economics (Osterrieder et al., 2020; Suciu et al., 2023), Marketing

(Gupta et al., 2021; Khamaisi et al., 2022), and Information Technology (Babkin et al., 2022; Wellalage et al., 2021). Integrating insights from these diverse disciplines presents a significant challenge for consolidating terms and concepts.

#### 4.3.2 Various terms and concepts

The consolidation of terms and definitions concerning I4.0 and I5.0, as well as determining which technologies are regarded as enabling technologies, remains unresolved (Büchi et al., 2020; Kumar & Bhatia, 2021; Pasi et al., 2023; Zheng et al., 2021). The challenge lies in consolidating the principal concepts while mitigating conflicts in comprehension.

#### 4.3.3 Rapid evolution of technologies

The ongoing evolution of I4.0 and the emergence of I5.0, encompassing both business models (Chiarini, 2020; Müller et al., 2021; Nimawat & Gidwani, 2020) and practices (Chirumalla, 2021; Stenroft et al., 2021), present a significant challenge to the process of conceptual consolidation.

#### 4.3.4 Variety of organizational contexts

Variations in the strategic alignment approach are evident across different industrial sectors (Lim et al., 2020; Rahman et al., 2020; Santos et al., 2021), organizational sizes (Chauhan et al., 2021; Lin et al., 2020), organizational cultures, and other contextual attributes (Babkin et al., 2022).

### 5. Conclusion

In a competitive and volatile environment characterized by social, political, and economic shifts, I4.0 and I5.0 emerge as potential pathways for industrial firms to achieve competitiveness. However, technology adoption alone does not ensure outcomes exceeding the market average without organizational strategic alignment. Considering this context, two research questions were formulated to guide this study:

RQ 1: How is strategic alignment achieved in adopting I4.0 and I5.0 technologies, and what are the leading research publications?

The systematic review identified 97 scholarly articles discussing strategic alignment, I4.0, and I5.0. These articles were classified into categories such as Technological Initiative, Technological Business Model, Digital Innovation, Digital Ecosystems, and Digital Holistic.

1  
2  
3  
4  
5 These categories were visually represented in Figure 3. Additionally, the articles were grouped  
6 into five distinct categories representing different perspectives on strategic alignment in the  
7 context of I4.0 and I5.0, as summarized in Table 3. This classification facilitated the delineation  
8 of opposing perspectives on strategic alignment and identified challenges.  
9

10 RQ 2: How the emergence of I5.0 impacts the strategic field?  
11

12 I5.0 contributes value to organizations through the adoption of innovative technologies  
13 and the proposal of competitive business models. In contrast to I4.0's focus on technical  
14 efficiency, I5.0 adopts a holistic approach, emphasizing the alignment between competitive  
15 advantage and organizational strategy. Figure 3 illustrates two key areas influenced by the I5.0  
16 concept: Digital Ecosystems and Digital Holistic.  
17

18 The article's contributions span five key areas: (1) Sheding light on the impact of I4.0  
19 and I5.0 on organizational strategy through systematic review. (2) Conducting a conceptual  
20 analysis of the relationship between strategic alignment and I4.0 or I5.0, incorporating  
21 established literature concepts and contemporary advancements. (3) Presenting a conceptual  
22 framework (Figure 3) to elucidate strategic alignment within I4.0 and I5.0 contexts. (4)  
23 Addressing divergent aspects of alignment in both I4.0 and I5.0 contexts. (5) Examining  
24 challenges identified in scholarly literature concerning strategic alignment in I4.0 and I5.0  
25 contexts.  
26

27 Though this study contributes valuable insights, it acknowledges certain inherent  
28 limitations common to research endeavors. The methodology employed in this literature review  
29 may introduce subjective bias during article selection, despite comprehensive searches across  
30 databases like Scopus and Web of Science.  
31

32 Future research should focus on developing a strategic alignment model that integrates  
33 emerging technologies of I4.0 and I5.0. As emphasized in this article, there remains a lack of  
34 clear definition regarding the characterization of alignment. New quantitative and qualitative  
35 studies can help to clarify these aspects.

36 **Acknowledgements**

37 This study was partially financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal  
38 de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001  
39

40 **Disclosure statement**

41 No potential conflict of interest was reported by the author(s).  
42

43 **References**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- Abdullah, F. M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2022). Exploring Key Decisive Factors in Manufacturing Strategies in the Adoption of Industry 4.0 by Using the Fuzzy DEMATEL Method. *Processes*, 10(5), 987. <https://doi.org/10.3390/pr10050987>
- Agostini, L., & Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*, 22(3), 406–421.
- Amjad, M. S., Rafique, M. Z., Khan, M. A., Khan, A., & Bokhari, S. F. (2024). Blue Ocean 4.0 for sustainability – harnessing Blue Ocean Strategy through Industry 4.0. *Technology Analysis & Strategic Management*, 36(4), 797–812. <https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2060072>
- Aslam, F., Aimin, W., Li, M., & Ur Rehman, K. (2020). Innovation in the Era of IoT and Industry 5.0: Absolute Innovation Management (AIM) Framework. *Information*, 11(2), 124. <https://doi.org/10.3390/info11020124>
- Babkin, A., Shkarupeta, E., Kabasheva, I., Rudaleva, I., & Vicentiy, A. (2022). A Framework for Digital Development of Industrial Systems in the Strategic Drift to Industry 5.0. *International Journal of Technology*, 13(7), 1373. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i7.6193>
- Bag, S., Gupta, S., & Kumar, S. (2021). Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. *International Journal of Production Economics*, 231(December 2019), 107844. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107844>
- Bordron, M., Mehdi-Souzani, C., & Bruneau, O. (2019). Inline measurement strategy for additive manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 233(5), 1402–1411. <https://doi.org/10.1177/0954405418755826>
- Borges, A. F. S., Laurindo, F. J. B., Spinola, M. M., Gonçalves, R. F., & Mattos, C. A. (2021). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. *International Journal of Information Management*, 57(September 2020), 102225. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102225>
- Bouchard, S., Abdulnour, G., & Gamache, S. (2022). Agility and Industry 4.0 Implementation Strategy in a Quebec Manufacturing SME. *Sustainability*, 14(13), 7884. <https://doi.org/10.3390/su14137884>
- Boyer, J., & Kokosy, A. (2022). Technology-push and market-pull strategies: the influence of the innovation ecosystem on companies' involvement in the Industry 4.0 paradigm. *The Journal of Risk Finance*, 23(5), 461–479. <https://doi.org/10.1108/JRF-12-2021-0193>
- Brodbeck, A. F., & Hoppen, N. (2003). Alinhamento Estratégico entre os Planos de Negócio e de Tecnologia de Informação: um Modelo Operacional para Implementação. *Revista de Administração Contemporânea*, 7(3), 9–33.
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>

- 1  
2  
3  
4  
5 Bui, T., Tseng, J., Tran, T. P. T., Ha, H. M., Lim, M. K., & Tseng, M. (2023). Circular supply  
6 chain strategy in Industry 4.0: The canned food industry in Vietnam. *Business Strategy  
7 and the Environment*, 32(8), 6047–6073. <https://doi.org/10.1002/bse.3472>  
8  
9 Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its  
10 performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of  
11 Cleaner Production*, 285.  
12  
13 Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature  
14 review and a proposed agenda for further research. *TQM Journal*, 32(4), 603–616.  
15 <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0082>  
16  
17 Chiarini, A., Belvedere, V., & Grando, A. (2020). Industry 4.0 strategies and technological  
18 developments. An Exploratory research from Italian manufacturing companies.  
19 *Production Planning and Control*, 31(16), 1385–1398.  
20 <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1710304>  
21  
22 Chirumalla, K. (2021). Building digitally-enabled process innovation in the process industries:  
23 A dynamic capabilities approach. *Technovation*, 105.  
24 <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102256>  
25  
26 Ciacci, A., Balzano, M., & Marzi, G. (2024). Optimising business models through digital  
27 alignment and strategic flexibility: Evidence from the manufacturing industry. *Journal of  
28 Management and Organization*. <https://doi.org/10.1017/jmo.2024.1>  
29  
30 Clancy, R., Ahern, M., O'Sullivan, D., & Bruton, K. (2020). Systematic Mapping Study of  
31 Digitization and Analysis of Manufacturing Data. *International Journal of Industrial and  
32 Systems Engineering*, 14(9), 717–731.  
33  
34 Cordeiro, G. A., Ordóñez, R. E. C., & Ferro, R. (2019). Theoretical proposal of steps for the  
implementation of the Industry 4.0 concept. *Brazilian Journal of Operations & Production  
Management*, 16(2), 166–179. <https://doi.org/10.14488/bjopm.2019.v16.n2.a1>  
35 Culot, G., Orzes, G., Sartor, M., & Nassimbeni, G. (2020). The future of manufacturing: A  
36 Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social  
37 Change*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120092>  
38  
39 De Alwis, A. M. L., De Silva, N., & Samaranayake, P. (2023). Industry 4.0-enabled sustainable  
40 manufacturing: current practices, barriers, and strategies. *Benchmarking: An International  
Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2023-0065>  
41  
42 El Zant, C., Benfriha, K., Loubère, S., Aoussat, A., & Adjoul, O. (2021). A design methodology  
43 for modular processes orchestration. *CIRP Journal of Manufacturing Science and  
44 Technology*, 35, 106–117. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.05.005>  
45  
46 Fakhri, A. B., Mohammed, S. L., Khan, I., Sadiq, A. S., Alkazemi, B., Pillai, P., & Choi, B. J.  
47 (2020). Industry 4.0: Architecture and equipment revolution. *Computers, Materials and  
48 Continua*, 66(2), 1175–1194. <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012587>  
49  
50 Fathi, M., & Ghobakhloo, M. (2020). Enabling mass customization and manufacturing  
51 sustainability in Industry 4.0 Context: A novel heuristic algorithm for in-plant material  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4  
5 supply optimization. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16).  
6 <https://doi.org/10.3390/su12166669>
- 7  
8 Gallego-García, S., Grotens, M., & Halstrick, J. (2022). Integration of Improvement Strategies  
9 and Industry 4.0 Technologies in a Dynamic Evaluation Model for Target-Oriented  
10 Optimization. *Applied Sciences*, 12(3), 1530. <https://doi.org/10.3390/app12031530>
- 11 Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward  
12 Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936.
- 13 Ghobakhloo, M. (2020). Determinants of information and digital technology implementation  
14 for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–  
2405.
- 15 Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role  
16 of lean-digitized manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*,  
17 31(1), 1–30. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2018-0417>
- 18 Ghobakhloo, M., Mahdiraji, H. A., Iranmanesh, M., & Jafari-Sadeghi, V. (2024). From Industry  
19 4.0 Digital Manufacturing to Industry 5.0 Digital Society: a Roadmap Toward Human-  
20 Centric, Sustainable, and Resilient Production. *Information Systems Frontiers*, 1–33.
- 21 Gillani, F., Chattha, K. A., Jajja, M. S. S., & Farooq, S. (2020). Implementation of digital  
22 manufacturing technologies: Antecedents and consequences. *International Journal of  
23 Production Economics*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107748>
- 24 Goujon, A., Rosin, F., Magnani, F., Lamouri, S., Pellerin, R., & Joblot, L. (2024). Industry 5.0  
25 use cases development framework. *International Journal of Production Research*.  
26 <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2307505>
- 27 Grab, B., Olaru, M., & Gavril, R. M. (2019). The impact of digital transformation on strategic  
28 business management. *Ecoforum Journal*, 8(1).
- 29 Gu, F., Guo, J., Hall, P., & Gu, X. (2019). An integrated architecture for implementing extended  
30 producer responsibility in the context of Industry 4.0. *International Journal of Production  
31 Research*, 57(5), 1458–1477.
- 32 Gupta, A., Kr Singh, R., Kamble, S., & Mishra, R. (2022). Knowledge management in industry  
33 4.0 environment for sustainable competitive advantage: a strategic framework. *Knowledge  
34 Management Research & Practice*, 20(6), 878–892.  
<https://doi.org/10.1080/14778238.2022.2144512>
- 35 Gupta, S., Justy, T., Kamboj, S., Kumar, A., & Kristoffersen, E. (2021). Big data and firm  
36 marketing performance: Findings from knowledge-based view. *Technological  
37 Forecasting and Social Change*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120986>
- 38 Hoffmann Souza, M. L., da Costa, C. A., de Oliveira Ramos, G., & da Rosa Righi, R. (2020).  
39 A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0.  
40 *Journal of Manufacturing Systems*, 56(February), 133–156.  
41 <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.016>
- 42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4  
5 Ivanov, D. (2023). Design and deployment of sustainable recovery strategies in the supply  
6 chain. *Computers & Industrial Engineering*, 183, 109444.  
7 <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109444>  
8  
9 Jaskó, S., Skrop, A., Holczinger, T., Chován, T., & Abonyi, J. (2020). Development of  
10 manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review  
11 of standard-and ontology-based methodologies and tools. *Computers in Industry*, 123.  
12  
13 Joia, L. A., & Souza, J. G. A. de. (2009). Articulando modelos de alinhamento estratégico de  
14 tecnologia da informação. *Cadernos EBAPE.BR*, 7(2), 253–269.  
15 [www.ebape.fgv.br/cadernosebape](http://www.ebape.fgv.br/cadernosebape)  
16  
17 Kafetzopoulos, D., & Katou, A. A. (2023). Expanding strategic flexibility through  
18 organizational culture, industry 4.0 and market orientation. *International Journal of  
19 Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2023-0010>  
20  
21  
22 Kearns, G. S., & Sabherwal, R. (2006). Strategic alignment between business and information  
23 technology: A knowledge-based view of behaviors, outcome, and consequences. *Journal  
24 of Management Information Systems*, 23(3), 129–162. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222230306>  
25  
26  
27 Khamaisi, R. K., Brunzini, A., Grandi, F., Peruzzini, M., & Pellicciari, M. (2022). UX  
28 assessment strategy to identify potential stressful conditions for workers. *Robotics and  
29 Computer-Integrated Manufacturing*, 78, 102403.  
30 <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102403>  
31  
32 Ko, M., Kim, C., Lee, S., & Cho, Y. (2020). An Assessment of Smart Factories in Korea: An  
33 Exploratory Empirical Investigation. *Applied Sciences-Basel*, 10(21).  
34 <https://doi.org/10.3390/app10217486>  
35  
36 Kumar Hajoary, P. (2023). Strategic response to Industry 4.0 – an empirical analysis from a  
37 developing country perspective. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1–14.  
38 <https://doi.org/10.1080/09537325.2023.2242520>  
39  
40 Kumar, S., & Bhatia, M. S. (2021). Environmental dynamism, industry 4.0 and performance:  
41 Mediating role of organizational and technological factors. *Industrial Marketing  
42 Management*, 95, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.03.010>  
43  
44 Kumar, S., & Tiwari, R. (2021). An efficient content placement scheme based on normalized  
45 node degree in content centric networking. *Cluster Computing-The Journal of Networks  
46 Software Tools and Applications*, 24(2), 1277–1291. <https://doi.org/10.1007/s10586-020-03185-0>  
47  
48 Kumar, V., Vrat, P., & Shankar, R. (2021). Prioritization of strategies to overcome the barriers  
in Industry 4.0: a hybrid MCDM approach. *Opsearch*, 58(3), 711–750.  
49 <https://doi.org/10.1007/s12597-020-00505-1>  
50  
51 Lee, C.-H., Li, L., Wang, D., & Wee, H. J. (2022). Strategic servitization design method for  
52 Industry 4.0-based smart intralogistics and production. *Expert Systems with Applications*,  
53 204, 117480. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117480>  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4  
5 Lee, Chen, Lin, Li, & Zhao. (2019). Developing a Quick Response Product Configuration  
6 System under Industry 4.0 Based on Customer Requirement Modelling and Optimization  
7 Method. *Applied Sciences*, 9(23), 5004. <https://doi.org/10.3390/app9235004>
- 8  
9 Liebrecht, C., Kandler, M., Lang, M., Schaumann, S., Stricker, N., Wuest, T., & Lanza, G.  
10 (2021). Decision support for the implementation of Industry 4.0 methods: Toolbox,  
11 Assessment, and Implementation Sequences for Industry 4.0. *Journal of Manufacturing  
12 Systems*, 58, 412–430. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.12.008>
- 13  
14 Lim, T., Linnenbrink, M., Ritchie, J., Sivanathan, A., Harper, S., Teichert, C., & Waller, A.  
15 (2020). An industrial case study on discrete event modelling of value stream mapping for  
16 Industry 4.0. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 13(1),  
17 90–110.
- 18  
19 Lin, T. C., Sheng, M. L., & Jeng Wang, K. (2020). Dynamic capabilities for smart  
20 manufacturing transformation by manufacturing enterprises. *Asian Journal of Technology  
Innovation*, 28(3), 403–426.
- 21  
22 Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation—a  
23 critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing  
24 Systems*, 56, 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>
- 25  
26 Luftman, J. N., Lewis, P. R., & Oldach, S. H. (1993). Transforming the enterprise: The  
27 alignment of business and information technology strategies. *IBM Systems Journal*, 32(1),  
28 198–221.
- 29  
30 Machado, C. G., Winroth, M., Almström, P., Ericson Öberg, A., Kurdve, M., & AlMashalah,  
31 S. (2021). Digital organisational readiness: experiences from manufacturing companies.  
32 *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 167–182.  
33 <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2019-0188>
- 34  
35 Mehdiabadi, A., Shahabi, V., Shamsinejad, S., Amiri, M., Spulbar, C., & Birau, R. (2022).  
36 Investigating Industry 5.0 and Its Impact on the Banking Industry: Requirements,  
37 Approaches and Communications. *Applied Sciences*, 12(10), 5126.  
38 <https://doi.org/10.3390/app12105126>
- 39  
40 Mehdiabadi, A., Tabatabeinasab, M., Spulbar, C., Yazdi, A. K., & Birau, R. (2020). Are We  
41 Ready for the Challenge of Banks 4.0? Designing a Roadmap for Banking Systems in  
42 Industry 4.0. *International Journal of Financial Studies*, 8(2).  
43 <https://doi.org/10.3390/ijfs8020032>
- 44  
45 Mejia-Moncayo, C., Kenné, J.-P., & Hof, L. A. (2023). On the development of a smart  
46 architecture for a sustainable manufacturing-remanufacturing system: A literature review  
approach. *Computers & Industrial Engineering*, 180, 109282.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109282>
- 47  
48 Mitropoulos, S. (2021). An integrated model for formulation, alignment, execution and  
49 evaluation of business and IT strategies. *International Journal of Business and Systems  
50 Research*, 15(1), 90–111. <https://doi.org/10.1504/IJBSR.2021.111756>
- 51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3  
4  
5 Molina-Arcos, I., Páez-Quinde, C., & Arroba, E. (2023). Mobile Marketing as a  
6 Communicative Strategy in Industry 4.0. *Revista de Comunicación de La SEECL*, 56, 322–  
7 334. <https://doi.org/10.15198/seeci.2023.56.e835>
- 8  
9 Mukhuty, S., Upadhyay, A., & Rothwell, H. (2022). Strategic sustainable development of  
10 Industry 4.0 through the lens of social responsibility: The role of human resource practices.  
11 *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2068–2081.  
12 <https://doi.org/10.1002/bse.3008>
- 13  
14 Muller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2021). The role of absorptive capacity and innovation  
15 strategy in the design of industry 4.0 business Models-A comparison between SMEs and  
16 large enterprises. *European Management Journal*, 39(3), 333–343.  
17 <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.01.002>
- 18 Müller, J. J. E. C. (2020). Enabling technologies for Industry 5.0. European Commission, 8–10.
- 19 Nimawat, D., & Gidwani, B. D. (2020). Prioritization of important factors towards the status of  
20 industry 4.0 implementation utilizing AHP and ANP techniques. *Benchmarking: An  
21 International Journal*, 28(2), 695–720.
- 22 Nosalska, K., Piątek, Z. M., Mazurek, G., & Rzadca, R. (2020). Industry 4.0: coherent definition  
23 framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of  
24 Manufacturing Technology Management*, 31(5), 837–862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- 25 Oluyisola, O. E., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Smart production planning and  
26 control: Concept, use-cases, and sustainability implications. *Sustainability (Switzerland)*,  
27 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093791>
- 28 Orellana, F., & Torres, R. (2019). From legacy-based factories to smart factories level 2  
according to the industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4–5), 441–451. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1609702>
- 29 Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry  
30 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*,  
31 221(July), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- 32 Parhi, S., Joshi, K., & Akarte, M. (2021). Smart manufacturing: a framework for managing  
33 performance. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(3), 227–  
34 256. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1858506>
- 35 Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2023). Strategies for risk management in adopting  
36 Industry 4.0 concept in manufacturing industries. *Journal of Science and Technology  
37 Policy Management*, 14(3), 563–591. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-04-2021-0057>
- 38 Pfaff, Y. M. (2023). Agility and digitalization: why strategic agility is a success factor for  
39 mastering digitalization – evidence from Industry 4.0 implementations across a supply  
40 chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 53(5/6),  
41 660–684. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2022-0200>
- 42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

- Psarommatis, F. (2021). A generic methodology and a digital twin for zero defect manufacturing (ZDM) performance mapping towards design for ZDM. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 507–521. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.021>
- Rahman, N. A. A., Mohammad, M. F., Ghafar, N. H., Moin, M. I. A., & Ali, A. (2020). The salient motives for Malaysia aviation industry sustainability: An explorative study on business, management, and technology components in aviation management program in Malaysia. *International Journal of Supply Chain Management*, 9(3), 81–93. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85087761213&partnerID=40&md5=13463165675cf62cd27b2ee41130e3fd>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspectiveNo Title. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546.
- Renda, Andrea., Schwaag Serger, Sylvia., Tataj, Daria., Morlet, Andrew., Isaksson, Darja., Martins, Francisca., Mir Roca, Montserrat., Hidalgo, C., Huang, Ailin., Dixon-Declève, Sandrine., Balland, P.-Alexandre., Bria, Francesca., Charveriat, C., Dunlop, Kirsten., Giovannini, Enrico., & European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. (2022). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe: governing systemic transformations towards a sustainable industry*.
- Rocha, C. F., Quandt, C. O., Deschamps, F., & Philbin, S. (2022). R &D collaboration strategies for industry 4.0 implementation: A case study in Brazil. *Journal of Engineering and Technology Management*, 63, 101675. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecmam.2022.101675>
- Rousseau, D., Manning, J., & Denyer, D. (2008). Evidence in Management and Organizational Science: Assembling the Field's Full Weight of Scientific Knowledge Through Syntheses. *Academy of Management Annals*, 2(1), 475–515.
- Sabherwal, R., & Chan, Y. E. (2001). Alignment Between Business and IS Strategies: A Study of Prospectors, Analyzers, and Defenders. *Information Systems Research*, 12(1), 11–33. <https://doi.org/10.1287/isre.12.1.11.9714>
- Sabioni, R. C., Daaboul, J., & Le Duigou, J. (2021). An integrated approach to optimize the configuration of mass-customized products and reconfigurable manufacturing systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 115(1–2), 141–163. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06984-w>
- Santos, B. P., Enrique, D. V., Maciel, V. B. P., Lima, T. M., Charrua-Santos, F., & Walczak, R. (2021). The Synergic Relationship Between Industry 4.0 and Lean Management: Best Practices from the Literature. *Management and Production Engineering Review*, 12(1), 94–107. <https://doi.org/10.24425/mper.2021.136875>
- Sayem, A., Biswas, P. K., Khan, M. M. A., Romoli, L., & Dalle Mura, M. (2022). Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Organizations and Their Mitigation Strategies. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6), 136. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060136>

- 1  
2  
3  
4  
5 Singh, S., Mahanty, B., & Tiwari, M. K. (2019). Framework and modelling of inclusive  
6 manufacturing system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*,  
7 32(2), 105–123.  
8  
9 Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*,  
10 17(1), 232–248.  
11  
12 Soomro, M. A., Hizam-Hanafiah, M., Abdullah, N. L., Ali, M. H., & Jusoh, M. S. (2021).  
13 Embracing industry 4.0: Empirical insights from Malaysia. *Informatics*, 8(2).  
14 <https://doi.org/10.3390/informatics8020030>  
15  
16 Stenroft, J., Wickstrøm, K. A., Haug, A., & Philipsen, K. (2021). Cost-driven motives to  
17 relocate manufacturing abroad among small- and medium-sized manufacturers: The  
18 influence of Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 646–  
19 666. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2019-0283>  
20  
21 Suciu, M. C., Plesea, D. A., Petre, A., Simion, A., Mituca, M. O., Dumitrescu, D., Bocaneala,  
22 A. M., Moroianu, R. M., & Nasulea, D. F. (2023). Core Competence—As a Key Factor  
23 for a Sustainable, Innovative and Resilient Development Model Based on Industry 5.0.  
24 *Sustainability*, 15(9), 7472. <https://doi.org/10.3390/su15097472>  
25  
26 Sun, Y., Li, L., Shi, H., & Chong, D. (2020). The transformation and upgrade of China's  
27 manufacturing industry in Industry 4.0 era. *Systems Research and Behavioral Science*,  
28 37(4), 734–740. <https://doi.org/10.1002/sres.2714>  
29  
30 Tang, Y. M., Chau, K. Y., Fatima, A., & Waqas, M. (2022). Industry 4.0 technology and  
31 circular economy practices: business management strategies for environmental  
32 sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(33), 49752–49769.  
33 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19081-6>  
34  
35 Wang, J., & Hsu, C. C. (2021). A topic-based patent analytics approach for exploring  
36 technological trends in smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology  
Management*, 32(1), 110–135. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2020-0106>  
37  
38 Weking, J., Stöcker, M., Kowalkiewicz, M., Böhm, M., & Krcmar, H. (2020). Leveraging  
39 industry 4.0 – A business model pattern framework. *International Journal of Production  
Economics*, 225(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107588>  
40  
41 Wellalage, N. H., Hunjra, A. I., Manita, R., & Locke, S. M. (2021). Information communication  
42 technology and financial inclusion of innovative entrepreneurs. *Technological  
Forecasting and Social Change*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120416>  
43  
44 Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception,  
45 conception, and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535.  
46 <https://doi.org/10.1016/j.jmansys.2021.10.006>  
47  
48 Yaqub, M. Z., & Alsabban, A. (2023). Industry-4.0-Enabled Digital Transformation: Prospects,  
49 Instruments, Challenges, and Implications for Business Strategies. *Sustainability*, 15(11),  
50 8553. <https://doi.org/10.3390/su15118553>  
51  
52 Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0  
53 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International  
Journal of Industrial Organization*, 77, 103033. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2021.103033>

1  
2  
3  
4  
5                      *Journal of Production Research*,        59(6),        1922–1954.  
6                      <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34

35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

**Page 24 of 24**

## APÊNDICE B – ARTIGO 2



### Strategic Alignment and Industry 4.0: An Exploratory Study with Eleven Companies

Gilberto Francisco de Oliveira<sup>1</sup> , Rodrigo Franco Gonçalves<sup>1</sup> , and Fernando José Barbin Laurindo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil  
gilberto.oliveira18@aluno.unip.br

<sup>2</sup> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo, SP, Brasil

**Abstract.** The technologies that make up the Industry 4.0 umbrella provide organizations with efficiency and flexibility, but without alignment with organizational strategies, below-average results can be achieved in comparison with the market. In order to avoid this failure, investments in I4.0 must support current or explore new business strategies. The present work aims to analyze how eleven companies located in Brazil can be typified in technological transformation alignment perspective by model of Henderson and Venkatraman. The eleven companies are large companies with consolidated initiatives to implement Industry 4.0. In the findings, it was possible to identify that the dominant adequacy to the strategic alignment model remains valid, despite the enabling technologies of Industry 4.0 to be recent. It is also highlighted the degree of concern about the type of strategic alignment chosen by these companies, which results in a temporary competitive advantage, as it allows imitation by other competing companies by not creating value in the customers' view.

**Keywords:** Industry 4.0 · Industrie 4.0 · Strategic alignment · Henderson and Venkatraman Model · Technology transformation · Competitive advantage

## 1 Introduction

There is a widespread paradigm that Industry 4.0 (I4.0) increases firm performance to the highest levels of competitiveness [1]. The technological tools that make the I4.0 possible bring advantages, such as better quality with lower production costs; customized production; process flexibility and efficient use of resources [2]. In contrast to the positive aspects, there are several risks involved in implementing I4.0 to consider when deciding to implement it. Of these, the lack of adherence to corporate strategic alignment stands out [3].

The business strategy is the result of the confrontation between the essential competencies of the organization in the face of opportunities and threats identified in the external environment. Core competencies increase the organization's competitive advantages (valuable, rare, expensive and non-replaceable) [4]. Information Technology and Digital

Communication (ITDC) plays a leading role in strategic alignment, and in the model proposed by Henderson & Venkatraman [5], it occurs in a bidirectional way [6]. However, despite the fact that I4.0 is essentially based on ITDC [1], there is no consolidated version of strategic alignment and one of the justifications lies in the fact that it is a relatively new area of study [3].

From the premise that the new technologies of I4.0 can contribute to the organizational strategy. The objective of this paper is to verify the application of Technological Transformation of the strategic alignment model between ITDC and Business developed by Henderson and Venkatrama [5] for companies that adopt I4.0 embedded technologies, for this, eleven companies located in the state of São Paulo, Brazil, were analyzed in a sample selected by convenience.

## 2 Theoretical Background

### 2.1 Industry 4.0

The I4.0 is related to the strong integration with industrial processes, aiming to improve quality, add value to activities and eliminate waste, mainly qualifying the data flow providing speed in transmission [7]. Organizations benefit from technologies covered in I4.0 in flexibility, real-time capacity monitoring, decentralization, modularity, operational and energy efficiency, interoperability, service orientation, virtualization, and sustainability [8].

The gains achieved with I4.0 have managed to break an important paradigm in production management, by making production in volume and variety more flexible without increasing cost [9]. The technologies that comprise I4.0 are broad, according to the literature, but the most used are Big Data Analytics, CPS, IoT, and Artificial Intelligence [2, 10–12].

### 2.2 Strategic Alignment Model

The literature defines “strategic alignment” as the process of transforming business strategy into actions that ensure that business objectives are supported [6]. Strategic alignment between business and ITDC means the synchronization between consolidated strategic business initiatives and the choices made in ITDC solutions and their governance, to achieve the maximum potential for results [13]. Authors have dedicated themselves to studying strategic alignment, since, in a dynamic market, efficiency in achieving business results is dependent on how ITDC is exploited by the organization [14]. The seminal model of Henderson and Venkatraman [5] is used to typify preponderant alignment [15].

The model develops four perspectives of dominant alignment by which an organization can be characterized [5]. The first two have a business strategy as a driving force: strategy execution and technology transformation, and the other two perspectives: competitive potential and service level, explore how information technology can enable new or improved business strategies with organizational implications [15].

In perspective two: technology transformation, the assessment of the implementation of the business strategy is based on the ITDC strategy and the articulation between infrastructure needs and the information system process. There is a more prominent adherence

to this perspective by companies when observing the application of I4.0 technologies [16]. This represents a tendency to apply ITDC solutions that can bring more flexibility to manufacturing operations until product delivery, without necessarily changing the business strategy [17]. Companies that adopt technology solutions embedded in I4.0 tend to give technology the ability to act preventively in their production processes, thus supporting decision making [2]. Technologies are essentially dedicated to improving to get data in operational processes and from this data, extracting information in an agile and efficient way [19]. Greater agility in data collection and processing enables decentralization and independence in decision-making in production cells [20]. The autonomy gained from digitalization enables vertical and horizontal integrations [21, 22], in addition to the ability to share operational information in real-time with different hierarchical levels of the company [9]. The technological transformation advocated with perspective two of the strategic alignment model is not just the result of the acquisition of new technologies with the adaptation of the factory layout [23], it also depends on the training of people all over the organization to obtain superior results in the attribution of their functions [24].

### 3 Research Method

The present work can be considered exploratory research [25]. Therefore, it is intended to analyze the adherence of organizations with initiatives to implement I4.0 technologies to the model of Henderson & Venkatraman [5] in its perspective Technological Transformation. The research question that motivated the study was “How are companies that apply emerging technologies from I4.0 positioned in perspective technological transformation of the strategic alignment proposed by Henderson and Venkatrama?”.

Methodological steps were followed to give consistency to the research process. Initially, it was performed a literature review to identify the theoretical basis, in which knowledge was obtained to identify the research question that guided the proposed study. With the literature review and the research question formulated, the next step was to determine the research protocol to carry out the data collection.

The data collection stage took place between May and June 2021, with eleven responding companies located in the state of São Paulo. A structured questionnaire based on a theoretical study was applied to the response of employees who occupy decision-making positions in these companies. The choice of the responding companies was based on the indication of market professionals and academics and for having already participated in research on the maturity in the implementation of emerging technologies of I4.0 [26].

The questionnaire has fourteen assertions, in which the respondent chooses between a Likert Scale ranging from 1 to 5. Where 1 means “totally disagree” and 5, he “totally agree” with the statement. The questionnaire was developed on a Web platform. The assertions were formulated from the findings in theory about characteristics of the technological transformation perspective and, thus, verify the existence and degree of strategic alignment in a company.

Table 1 addresses the assertions presented in the questionnaire, with the reference authors.

**Table 1.** Questionnaire

At the company, I work for:	Support
has confidence in its technologies to support decision-making and acts, based on the implemented technologies, in a preventive	[20]
manages to capture data in all its operational processes and organize it to derive value from it	[19]
has autonomous cells, that is, they operate independently in the entire manufacturing operation	[20]
has activity digitization that helps management	[21]
has vertical integration (the information sharing from the shop floor to company executives) and horizontal integration (the connection between all sectors of the production chain)	[21]
all those responsible for dealing with implemented Industry 4.0 technologies have the knowledge and skills to perform this role	[24]
can proactively plan for future occurrences because of the implemented Industry 4.0 technologies	[2]
has adapted the structure and layout throughout the entire manufacturing area to receive Industry 4.0 technologies	[23]
has high levels of standardization in processes and products, following norms and specifications	[2]
uses integrated systems throughout the manufacturing unit that allow the sharing of data information from the factory floor with the operational and executive levels	[9]
uses technologies such as Big Data Analytics, CPS, IoT, and Artificial Intelligence in all its manufacturing processes	[2, 10–12, 27]
has a management system for all logistical links, from supplier data, and inventory, to sales	[21]
has systems capable of accumulating knowledge and autonomously making decisions, performing analyzes of the results accumulated in the manufacturing operations	[22]
has systems capable of accumulating knowledge and making decisions in a semi-autonomous way (with human intervention), performing analyzes of the results accumulated in the manufacturing operations	[22]

Source: Prepared by the authors

## 4 Results and Discussion

Preliminary to the questionnaire, on adherence to perspective two of the model by Henderson and Venkatraman [5], questions were asked that helped to typify the respondent company, and the compilation of the eleven companies is presented in Table 2.

**Table 2.** Typification of respondent companies

	Type of industry	Range of number of employees	Annual billing range
Company 1	Metallurgical	10 to 49	Between BRL 360 thousand and BRL 4.8 million
Company 2	Electronics	50 to 249	Greater than BRL 300 million
Company 3	Cosmetics	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 4	Chemistry	0 to 9	Between BRL 360 thousand and BRL 4.8 million
Company 5	Metallurgical	50 to 249	Between BRL 360 thousand and BRL 4.8 million
Company 6	Metallurgical	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 7	Steel Mill	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 8	Mining	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 9	Metallurgical	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 10	Cosmetic	250 or more	Greater than BRL 300 million
Company 11	Automobile	250 or more	Greater than BRL 300 million

Source: Prepared by the authors

As shown in Table 2, the number of employees combined with the billing classify the companies surveyed can be considered as large. There is a variety of areas of activity, and in the metallurgical segment, there are four companies, followed by the cosmetics area with two companies interviewed.

The level of training and experience of the respondents were also mapped. The minimum training is higher education, with more than 4 years in the company, all of them occupying a management position in the companies they operate.

Table 3 shows the data collected from the fourteen assertions, the sum was tabulated and calculated for each respondent company, considering that the higher the total value, with seventy being the maximum, the greater the company's adherence to perspective two of the strategic alignment model of Henderson and Venkatraman [5].

Company 7 was the only one that the respondent scored with the highest value on the scale for all assertions, something expected of the high level of investment in recent years in innovative technologies of the company in the steel segment, mainly aimed at improving the ability to collect and transfer data in your processes. Company 8 had the lowest average, although, with high dispersion, the result is linked to the

**Table 3.** Sum of points by company where 70 is the maximum value

Company	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sum	44	51	42	42	42	66	70	33	42	59	58

Source: Prepared by the authors

company's operating segment (mining) in which investments in I4.0 technologies do not confirm perspective two of strategic alignment as dominant, because there are occasional and dispersed applications of new technologies in their manufacturing processes. The other companies, to a lesser and greater degree, corroborate the understanding that the strategic alignment has been guided by the use of ITDC enablers of I4.0 to improve production processes, as recommended by the strategic alignment model of Henderson and Venkatrama [5].

## 5 Conclusion

The emerging technologies of I4.0 have contributed companies to be more agile in their production processes. Agility is achieved by collecting, transforming and transmitting data more quickly to decision makers. However, the mere availability of new technologies does not mean a return of superior results if there is not an adequate strategic alignment.

In the eleven companies studied, it was possible to identify the predominant adherence to perspective technological transformation, in which the technologies structured in I4.0 aim to support the organizational strategy. On the one hand, it means obtaining results in a pragmatic with improved levels of information, but the competitive advantage that comes from this perspective is temporary, as it is easily imitated by other competitors. Organizations interested in achieving perennial competitive results should align efforts in the application of I4.0 technologies to offer differentiated, customized products and services focused on servitization, as recommended by perspectives three and four of the strategic alignment model.

Although new digital transformation technologies can be applied to many manufacturing processes, their access is still restricted to large companies due to the high investment required. This characteristic was identified in the eleven companies studied when analyzing their size and revenue.

Analyzing how obtaining new technologies incorporated into I4.0 is converting into benefits in the strategic field plays an important role, as argued by Karpovsky [14]. Supporting a proposition to be tested in future works, named here as P1.

P1. Organizations that apply the new I4.0 technologies adhering to their business strategies can obtain a higher return on investment.

Although there is no consolidated model to typify the companies that align the new technologies of the I4.0 to their strategies. The model by Henderson and Venkatraman [5], published in 1993, proved to be adequate to characterize the companies studied from the perspective of technological transformation, but there is another gap for study, declared in the proposition to be tested in future works regarding the applicability of the other perspectives.

P2. The application and use of new technologies incorporated in I4.0 can characterize organizations in any of the four perspectives of strategic alignment, depending on the way they were implemented.

The presented propositions have the limitation of the few respondents, opening opportunities for future research, in which the methodological procedures could be either case studies or surveys.

As in any research, there are limitations inherent to the methodology, such as considering a restricted group of companies, and not being possible to generalize the findings, which opens the opportunity for further research with a larger sample base.

This study was partially financed by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES) – Financial Code 001.

## References

1. Tyas, W.P., Hutama, J.K.P.: Strategy and innovation of home based enterprises for local development in the 4.0 era: a bibliographic study. In: IOP Conference Series Earth Environment Science, vol. 673, no. 1, pp. 0–14 (2021)
2. Kamble, S.S., et al.: Smart manufacturing process and system automation—a critical review of the standards and envisioned scenarios. *J. Manuf. Syst.* **56**(4), 312–325 (2020)
3. Cordeiro, G.A., Ordóñez, R.E.C., Ferro, R.: Theoretical proposal of steps for the implementation of the Industry 4.0 concept. *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.* **16**(2), 166–179 (2019)
4. Hitt, M.A., Ireland, R.D., Hoskisson, R.E.: Administração Estratégica. Cengage Learning Edições (2008)
5. Henderson, J.C., Venkatraman, H.: Strategic alignment: leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Syst. J.* **38**(2.3), 472–484 (1993)
6. Fernandes, A.A., Abreu, V.F.: implantando a governança de TI: da estratégia à Gestão dos Processos e Serviços. BRASPORT, Rio de Janeiro (2014)
7. Gadekar, R., Sarkar, B., Gadekar, A.: Assessment of key success factors for Industry 4.0 implementation in manufacturing industry using EDAS. *Int. J. Innov. Eng. Sci.* **6**(1), 1–11 (2021)
8. Nosalska, K., Piątek, Z.M., Mazurek, G., Rzadca, R.: Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *J. Manuf. Technol. Manag.* **31**(5), 837–862 (2019)
9. Lee, C.K.M., Lin, B.B., Ng, K.K.H., Lv, Y.Q., Tai, W.C.: Smart robotic mobile fulfillment system with dynamic conflict-free strategies considering cyber-physical integration. *Adv. Eng. Inf.* **42**, 100998 (2019)
10. Culot, G., Orzes, G., Sartor, M., Nassimbeni, G.: The future of manufacturing: a delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. *Technol. Forecast. Soc. Change* **157**, 120092 (2020)
11. El Zant, C., Benfriha, K., Loubère, S., Ouassat, A., Adjoul, O.: A design methodology for modular processes orchestration. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* **35**, 106–117 (2021)
12. Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M.: The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *Int. J. Prod. Res.* **59**(6), 1922–1954 (2021)
13. Mitropoulos, S.: An integrated model for formulation, alignment, execution and evaluation of business and IT strategies. *Int. J. Bus. Syst. Res.* **15**(1), 90–111 (2021)
14. Karpovsky, A., Galliers, R.D.: Aligning in practice: from current cases to a new agenda. *J. Inf. Technol.* **30**(2), 136–160 (2015)

15. Ullah, A., Lai, R.: A systematic review of business and information technology alignment. *ACM Trans. Manag. Inf. Syst.* **4**(1), 1–30 (2013)
16. Ghobakhloo, M., Fathi, M.: Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. *J. Manuf. Technol. Manag.* **31**(1), 1–30 (2020). <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2018-0417>
17. Gajsek, B., Marolt, J., Rupnik, B., Lerher, T., Sternad, M.: Using maturity model and discrete-event simulation for Industry 4.0 implementation. *Int. J. Simul. Model.* **18**(3), 488–499 (2019)
18. Lang, S., Reggelin, T., Jobran, M., Hofmann, W.: Towards a modular, decentralized and digital Industry 4.0 learning factory, pp. 123–128 (2018)
19. Ribeiro, P.P., de M. Lopes, C., Correia, A.M.: Avaliação da gestão de estoque em uma microempresa de autoparças utilizando a curva abc como ferramenta de apoio. *Rev. CEREUS* **12**(2), 130–145 (2020)
20. Hoffmann Souza, M.L., da Costa, C.A., de Oliveira Ramos, G., da Rosa Righi, R.: A survey on decision-making based on system reliability in the context of Industry 4.0. *J. Manuf. Syst.* **56**, 133–156 (2020)
21. Belinski, R., Peixe, A.M.M., Frederico, G.F., Garza-Reyes, J.A.: Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. *Benchmarking* **27**(8), 2435–2457 (2020)
22. Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Sharma, R.: Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Comput. Ind.* **101**, 107–119 (2018)
23. Espinola, A.J.C., da Si. Diniz, R., de Oliveira, G.F.: Níveis De Ocupação No Brasil Com a Indústria 4.0: Desafio Ou Caos? *Rev. FATEC SEBRAE EM DEBATE Gestão, Tecnol. e Negócios* **07**(11), 41 (2020)
24. Pacchini, A.P.T., Lucato, W.C., Facchini, F., Mummolo, G.: The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0. *Comput. Ind.* **113**, 103125 (2019)
25. Stebbins, R.A.: Exploratory Research in the Social Sciences: Qualitative Reserach Methods Series, vol. 48. Sage University Paper, Thousand Oaks (2001)
26. Pereira, G.B., Nogueira, G.C., Oliveira, G.F.: Maturity in Industry 4.0: study in eleven companies located in greater São (2021)
27. Buchi, G., Cugno, M., Castagnoli, R.: Smart factory performance and Industry 4.0. *Technol. Forecast. Soc. Change* **150**, 119790 (2020)

## APÊNDICE C – ARTIGO 3

### Journal of Strategic Information Systems STRATEGIC ALIGNMENT AND INDUSTRY 4.0: AN EXPLANATORY MODEL --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Article Type:	VSI: Digital Transformation of Strategy and Work
Keywords:	Industry 4.0; Strategy; Strategic Alignment; Mass Customization; Productivity Paradox; Manufacturing Strategy
Corresponding Author:	Gilberto Francisco De Oliveira, M.D. Paulista University BRAZIL
First Author:	Gilberto Francisco De Oliveira, M.D.
Order of Authors:	Gilberto Francisco De Oliveira, M.D.  Gabriela Scur  Fernando José Barbin Laurindo  Rodrigo Franco Gonçalves
Abstract:	Manufacturing companies face challenges that call their business model into question. The paradigm formed until now that low production costs are achieved with economies of scale or scope has been overturned with the emerging technologies of Industry 4.0 (I4.0). Furthermore, customers tend to look for customized products, including after-sales services. Customization and servitization become economically viable with I4.0, however, the simple adoption of new technologies does not guarantee the construction of a competitive advantage. This research proposes a conceptual model based on the perspectives of Henderson and Venkatraman to help typify strategic alignment with the adoption of I4.0. This allows decision makers a comprehensive view of how choosing between different perspectives can support strategic positioning according to the market dynamics in which the industrial organization operates. The research methodology considers the application of the Delphi method with panels made up of academics and professionals to validate the components of the I4.0 alignment model based on sixteen statements grouped into four perspectives: Digital Transition, Digital Transformation, Digital Potential and Digital Support Processes.
Suggested Reviewers:	Pedro Pedro pedro.leao@tecnico.ulisboa.pt  Sushil Sushil profsushil@gmail.com

## STRATEGIC ALIGNMENT AND INDUSTRY 4.0: AN EXPLANATORY MODEL

Gilberto Francisco de Oliveira<sup>a</sup>, Gabriela Scur<sup>b</sup>, Fernando José Barbin Laurindo<sup>c</sup>, Rodrigo Franco Gonçalves<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil

ORCID 0000-0002-5806-175X

deoliveira.gilberto@gmail.com

<sup>b</sup> Fundação Educacional Inaciana – FEI, São Bernardo, SP, Brasil

ORCID 0000-0003-1498-1172

gabriela.sul@gmail.com

<sup>c</sup> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, São Paulo, SP, Brasil.

ORCID 0000-0002-5924-3782

fjblau@usp.br

<sup>d</sup> Universidade Paulista – UNIP, São Paulo, SP, Brasil

ORCID 0000-0003-2206-3136

rofranco212@gmail.com

### HIGHLIGHTS

- IT-based transformational business approach provides competitiveness.
- Industry 4.0 (I4.0) is the technological response to this transformation in manufacturing organizations.
- The implementation of innovative I4.0 solutions does not represent a gain in competitiveness.
- Strategic alignment is the means to achieve competitive advantage.
- A theoretical model of strategic alignment is proposed considering I4.0.

### ABSTRACT

Manufacturing companies face challenges that call their business model into question. The paradigm formed until now that low production costs are achieved with economies of scale or scope has been overturned with the emerging technologies of Industry 4.0 (I4.0). Furthermore, customers tend to look for customized products, including after-sales services. Customization and servitization become economically viable with I4.0, however, the simple adoption of new technologies does not guarantee the construction of a competitive advantage. This research proposes a conceptual model based on the perspectives of Henderson and Venkatraman to help typify strategic alignment with the adoption of I4.0. This allows decision makers a comprehensive view of how choosing between different perspectives can support strategic positioning according to the market dynamics in which the industrial organization operates. The research methodology considers the application of the Delphi method with panels made up of

academics and professionals to validate the components of the I4.0 alignment model based on sixteen statements grouped into four perspectives: Digital Transition, Digital Transformation, Digital Potential and Digital Support Processes.

Keywords: Industry 4.0, Strategy, Strategic Alignment, Mass Customization, Productivity Paradox.

## 1. Introduction

The manufacturing company faces new challenges. Charging for shorter delivery times, availability of mass customization, associated with more efficient and autonomous processes, unit-sized production batches and superior quality. However, under this challenging scenario, I4.0 enabling technologies can contribute by proposing an IT-based transformational business approach (Osterrieder et al., 2020). Considering that I4.0 makes up a particular spectrum of IT by introducing a smart manufacturing, integrating the physical with the virtual (Azman& Ahmad, 2020; Cordeiro et al., 2019).

Mass customization, unit batches, as well as manufacturing positioning in the volume-variety matrix are some of the decisions made in the organizational strategy (Da Silveira et al., 2001; Hoa et al., 2021; Mourtzis & Vlachou, 2018). When these decisions are supported by technology, there is strategic alignment (Mitropoulos, 2021). Strategic alignment therefore involves the possibility of a bidirectional vision. In other words, IT equips the organization to support business proposals or IT-based transformation drives new business models (Hoa et al., 2021; Salam, 2019).

The lack of strategic alignment, that is, when decisions made in technologies are not supported by strategic decisions, is widely discussed in the literature. Two seminal articles (Henderson & Venkatraman, 1993; Solow, 1987) articulated the consequences of lack of alignment in dealing with the productivity paradox, in which increasing investments in technologies do not return commensurate levels of productivity. In this sense, Porter (2008) stated that although technologies are essential for achieving operational efficiency, this is not guarantee of capturing value if it is not linked to a business strategy that supports it. Some authors, from the perspective of dynamic capability, have discussed the influence exerted by the external environment on the results obtained by companies in which the skills developed, including technological ones, can create value for the organization (Chirumalla, 2021; Lim et al., 2020; Teece, 2007).

The theme of strategic alignment and I4.0 is contemporary given its implications for the organization's competitive performance (Ozbiltekin-Pala et al., 2024; Villalba-Diez& Zheng, 2020), but how is it possible to achieve value with the application of new technologies is still a gap (Rehman et al., 2024). Considering the growing relevance of I4.0 for obtaining superior results and the importance of linking the strategy with enabling technologies, the present study presents the following research questions:

RQ 1: What are the components of a proposition model of strategic alignment that integrates the I4.0 enabling technologies?

RQ 2: How to classify the strategic alignment and I4.0 enabling technologies through the combination and intensity of the model's components?

This article aims to present a model that supports the typification of strategic alignment, considering the emerging technologies of I4.0. For this, Delphi was carried out to evaluate the components that make up the I4.0 Strategic Alignment Model.

The structure of this article comprises the following: The Background describes the theoretical basis for proposing a model to be detailed in the following section. The Methodology section describes the application of the Delphi method to evaluate the components and their arrangements according to the perspective that constitute the model. The Results and Discussion section addresses the research results and presents the final model of strategic alignment and I4.0 and, finally, the study ends by presenting the Conclusions, Limitations and Future Research.

## 2. Background

### 2.1. Strategic alignment

Strategic alignment is essential to support the pursuit of organizational competitive advantage (Chan et al., 1997; Sabherwal & Chan, 2001). Strategic alignment means the synchronization between the business strategy and the choices made in technological solutions and their governance to achieve maximum benefits (Mitropoulos, 2021). Henderson and Venkatraman's (1993) alignment seminal model (H&V model) is the most used in the technological approach (Ullah& Lai, 2013). H&V model develops four perspectives of dominant alignment by which an organization can be characterized.

The first two perspectives of the H&V model have business strategy as the driving force (strategy execution and technological transformation), and the other two perspectives (competitive potential and service level) explore how information technology can enable new or improved business strategies with organizational implications. However, the competitive potential perspective focuses on products or services for the market, while the service level perspective focuses on the organization's own internal IT services. In this way, it is possible to consider which perspective is dominant in the H&V model. The integration between business and IT strategies is materialized by choices made in business domains and their impact on IT domains and vice versa (Avison et al., 2004). The Figure 1 shows the H&V model.

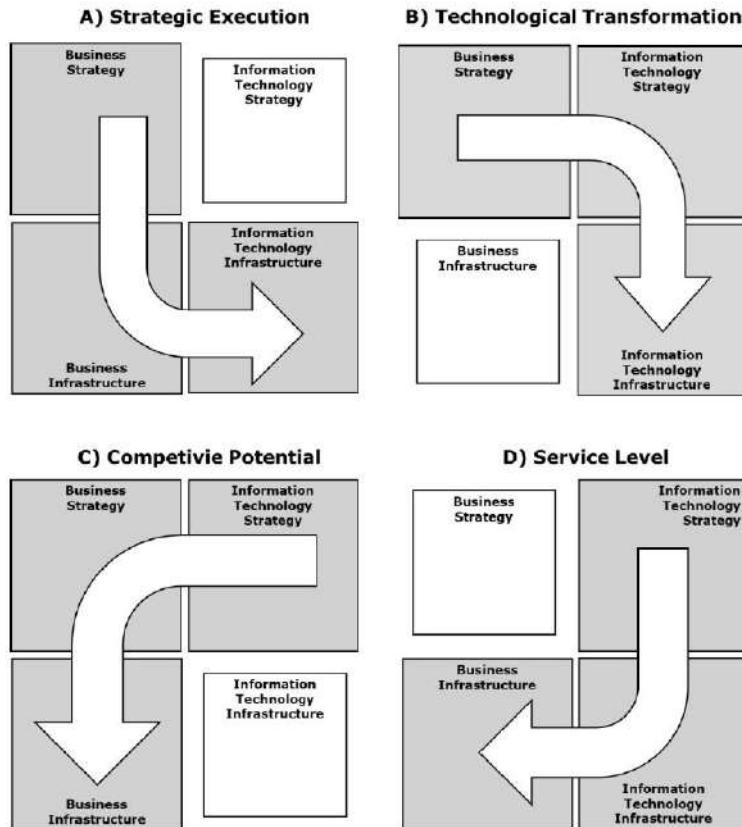


Figure 1. - H&V model - adapted from Coleman & Papp (2006)

I4.0 spectrum technologies are IT solutions (Culot et al., 2020). They, therefore, can contribute to supporting strategic alignment as long as they can create value from the customer's perspective (Zheng et al., 2021). However, as presented by Whetten (2003), the theoretical effects of the models vary over time, either because other variables arise or because the theoretical effects are unstable for some reason. Although the H&V model is a reference for classification regarding alignment, the innovative technologies of I4.0 did not yet exist. Which justifies a proposition model based on the seminal model but from the perspective of the new embedded technologies of I4.0.

The new I4.0 technologies bring manufacturing possibilities for development, production, and delivery not possible in traditional companies, which characterizes I4.0 as a paradigm shift from not depending on volume to producing the variety required by customization without losing operability and efficiency (Kumar & Bhatia, 2021; Lee et al., 2019). Thus, manufacturing companies develop competitiveness to respond to the contemporary challenges of hypercompetition, in which customers demand products with greater levels of customization (Santos et al., 2021).

Bringing the implementation of new technologies recommended by I4.0 into the light of the strategy offers a perspective of differentiating products and services as a means of survival for the company (Cordeiro et al., 2019). The innovation made possible by adopting I4.0 technologies, even when limited to processes, should contribute to strategic alignment, and not be counted solely as an operational cost (Zheng et al., 2021).

### 3. Model Proposition

The H&V model considers the arrangement of components: strategy, infrastructure, and processes to typify the alignment of IT and business (Luftman, 2000). This article presents an alignment model using three components: processes, systems, and organizational structure. The intensity and combination of these components classify the alignment.

- **Processes** are made up of people, resources and machines that work together to optimize operations and increase efficiency. The greater presence of electronic components and Programmable Logic Controllers (PLCs) as a result of process automation has enabled connectivity and decentralization, critical characteristics of I4.0. Transforming conventional production processes into self-optimized, self-correcting, and self-adaptive production processes (Gu et al., 2019; Oluyisola et al., 2020). In H&V model there is a distinction between organizational processes and IT processes. In this article we focus on manufacturing processes, therefore focusing on the application of I4.0 enabling technologies. The implication of I4.0 in production processes is evident in several works, whether in pure and simple automation of activities, in fulfilling configurable/customized orders in mass or even in facilitating the exchange of information (Büchi et al., 2020; Chiarini, 2020; Fakhri et al., 2021; Min et al., 2019; Ślusarczyk, 2018).

- **Systems** are composed of people, processes, resources, and machines that process information and use it to enter communication links to conduct business or achieve informational objectives of production processes and services (Gajdzik & Wolniak, 2021). They, therefore, imply that all productive elements have a digital life and can be connected to a digital industrial network (Santos et al., 2021). Connectivity has expanded as sensors and network infrastructure gradually become more applicable and affordable (Oluyisola et al., 2020). Information systems constitute connected processes that create a value chain based on I4.0 enabling technologies (Nosalska et al., 2020). I4.0 strongly integrates physical objects and production facilities into virtual information networks (Santos et al., 2021), with results captured regarding quality improvement, response time reduction, and global optimization. In H&V model, the infrastructure component includes systems and organizational structure. In this research we consider treating them in distinct components in the model proposition.

- **Structure** comprises interconnected elements that define the relationships of authority, responsibility, and communication within a company (Scott, 1975). To deal with the new technologies that facilitate I4.0, it is necessary to plan the organizational structure to support changes not restricted to the technical field (Črešnar et al., 2020). Companies in technologically turbulent and data-rich environments, as proposed by the new enabling technologies of I4.0, need to keep up with changes quickly, which are reflected to a greater or

lesser extent in their organizational structure, depending on the technological level (Kumar & Ramachandran, 2021; Linh et al., 2019).

From the three components identified as typifying alignment and an integrative literature review, it was possible to identify four alignment perspectives considering the enabling technologies of I4.0. The four perspectives are inspired by the H&V model:

Organizations can choose to invest in emerging technologies with a focus on solving problems or improving production performance locally in manufacturing. This behavior has been observed by some authors (Grab et al., 2019; Orellana & Torres, 2019; Porter & Heppelmann, 2015). Considering that at this level of implementation of new technologies, the impacts are low on the organization's processes and systems, the structure becomes of relevant importance for implementation initiatives as presented by Orellana & Torres (2019) when discussing implementation in legacy factories. For this categorization, in this paper we considered it as a **Digital Transition** perspective.

For organizations that apply emerging technologies more broadly to production processes, with information systems to support decisions (Culot et al., 2020; Kamble et al., 2020), and adjusted structures with the insertion of new roles and responsibilities to support technologies (Oluyisola et al., 2020). We name **Digital Transformation** perspective characteristics.

The **Digital Potential** perspective typifies organizations in which the impact of emerging I4.0 technologies on production processes is significant, such as offering mass customization and servitization, for example (Chauhan et al., 2021). The need for interconnected, autonomous, and self-managed production processes and information systems requires new skills and roles on the factory floor (Bouchard et al., 2022), such as data analyst and programmers to support decision making (Lee et al., 2022; Srinivasan & Swink, 2018).

The fourth perspective, **Digital Support Process**, characterizes organizations that apply emerging technologies not in their main processes, but in the organization's support processes. Support process is defined as a combination of all technical, administrative and management actions during the life cycle of a productive item and intended to maintain it, or restore it, in a state in which it can perform its function required (Crespo Marquez & Gupta, 2006). Therefore, the processes, systems and structure are shaped to welcome innovative technologies applied to productive support activities (Linh et al., 2019; Marques et al., 2017), with a predominate focus on data-based services (Mohamad et al., 2021).

Based on the perspectives discussed in this session, a conceptual framework for a model proposition was developed (Figure 2). Each intersection presented in the model represents the impact of the components (Processes, Systems and Structure) has on the perspectives (Digital Transition, Digital Transformation, Digital Potential and Digital Support Processes).

		PERSPECTIVES			
		Digital Transition	Digital Transformation	Digital Potential	Digital Support Process
COMPONENTS					
<b>Processes</b>					
<b>Systems</b>					
<b>Structure</b>					

RQ 1: What are the components of a model proposition of strategic alignment that integrates the I4.0 enabling technologies?

RQ 2: How to classify the strategic alignment and I4.0 enabling technologies through the combination and intensity of the model's components?

Figure 2. Conceptual Framework developed from the theoretical considering the perspectives of strategic alignment and the interrelation with components. The research questions that guide the study are also presented.

#### 4. Methods

In this first phase of our research, a theory-based propositional framework was presented (Section 3). This model presents 4 perspectives based on the H&V model and new labels for the quadrants. Furthermore, we extract 3 components of the theory.

To evaluate the relationship the components (processes, systems, and structure) and the perspectives (digital transition, digital transformation, digital potential and, digital support process) the Delphi methodology was applied.

The Delphi method is a popular technique for predicting and assisting decision-making based on expert opinion (Landeta, 2006). The application of the method is recommended when there is a problem to be worked on at levels of uncertainty with insufficient data, incomplete theory, and a high order of complexity (Pill, 1971). The Delphi method comprises: (1) anonymous response, in which members' opinions of the group are obtained by a formal questionnaire; (2) interaction and controlled feedback, application of a systematic exercise conducted by several interactions to obtain members' opinions and, (3) statistically based response (Dalkey, 1969).

Through a targeted literature review, it was possible to develop 16 statement that identify the typology of strategic alignment. The statements presented in the first round are listed in the Figure 3, grouped into four perspectives: Digital Transition; Digital Transformation; Digital Potential, and Digital Support Process. The denomination used for each of the perspectives does

not reframe concepts consolidated in the literature, but rather the most appropriate result to represent each of the perspectives, taking as a reference the H&V model.

Perspective	References
<b>Digital Transition</b> The new I4.0 technologies can be <b>applied punctually</b> , or even isolated in parts of manufacturing processes or support processes, by manufacturing companies: S1.1: without the need to formulate an organizational strategy.  S1.2: and although without radical changes to production processes.  S1.3: and connectivity to systems in some form will be required.  S1.4: without requiring changes to the organizational structure	(Grabet al., 2019; Orellana& Torres, 2019; Porter &Heppelmann, 2015)  (Büchi et al., 2020; Chiarini, 2020; Gu et al., 2019; Min et al., 2019; Oluyisola et al., 2020; Ślusarczyk, 2018)  (Gajdzik&Wolniak, 2021; Nosalska et al., 2020; Santos et al., 2021)  (Črešnar et al., 2020; V. Kumar & Ramachandran, 2021; Linh et al., 2019; Scott, 1975)
<b>Digital Transformation</b> The new I4.0 technologies can be applied by manufacturing companies in a more comprehensive way, considering <b>more stages of production activities</b> : S2.1: with little or no adjustments to the organizational strategy.  S2.2: in need of revisions in production processes to extract the potential of new technologies.	(Culot et al., 2020; Kamble et al., 2020; Oluyisola et al., 2020)  (Büchi et al., 2020; Chiarini, 2020; Gu et al., 2019; Min et al., 2019; Ohuyisola et al., 2020; Ślusarczyk, 2018)
S2.3: with the need to add or adjust systems.	(Gajdzik&Wolniak, 2021; Nosalska et al.,

2020; Santos et al., 2021)

S2.4: the organizational structure must have adjustments in positions and new functions to extract the potential of new technologies.

(Črešnar et al., 2020; V. Kumar & Ramachandran, 2021; Linh et al., 2019; Scott, 1975)

#### Digital Potential

With the application of new I4.0 enabling technologies **in all production operations**:

S3.1: there is potential for change in the organization's strategy, for example, offering customized products and adding services to the product.

(Bouchard et al., 2022; Chauhan et al., 2021; Lee et al., 2022; Srinivasan & Swink, 2018)

S3.2: can support greater levels of flexibility in production than was possible before the implementation of new technologies and significant changes to manufacturing processes are required to do so.

(Bitchi et al., 2020; Chiarini, 2020; Gu et al., 2019; Min et al., 2019; Oluyisola et al., 2020; Ślusarczyk, 2018)

S3.3: support greater levels of flexibility in production than was possible before the implementation of new technologies and integrated systems are needed both vertically (with a focus on management) and horizontally (with communication between machines and processes) to support this proposition.

(Gajdzik & Wolniak, 2021; Nosalska et al., 2020; Santos et al., 2021)

S3.4: Impacts changes in the organizational structure with the inclusion of new positions and new functions to support the management of these new technologies.

(Črešnar et al., 2020; V. Kumar & Ramachandran, 2021; Linh et al., 2019; Scott, 1975)

#### Digital Support Process

The new enabling technologies of I4.0 can motivate the provision of **improved services for manufacturing support and maintenance services**:

S4.1: without the organizational strategy being reformulated.

(Crespo Marquez & Gupta, 2006; Linhet al., 2019; Marques et al., 2017; Mohamad et al., 2021)

S4.2: reducing waste and/or helping with process stability and predictability.

(Büchi et al., 2020; Chiarini, 2020; Gu et al., 2019; Min et al., 2019; Oluyisola et al.,

2020; Ślusarczyk,  
2018)

S4.3: demanding systems to support the performance of support processes. (Gajdzik & Wolniak, 2021; Nosalska et al., 2020; Santos et al., 2021)

S4.4: changes to the organizational structure are necessary, specifically about the areas of maintenance, and manufacturing support to sustain the potential of innovative technologies. (Črešnar et al., 2020; Kumar & Ramachandran, 2021; Linh et al., 2019; Scott, 1975)

---

Figure 3 - Statements (S) by Perspective and their respective references

Before being sent to the panelists, the questions were analyzed and approved by four academics, all with PhDs with research lines in strategic alignment and manufacturing management. The statements focus the analysis on different aspects to implement what is found in the literature, supported by three main bases: **Processes, Systems and Structures**. For each statement, the respondent chose the most appropriate statement on a Likert scale from 1 to 5, with 1 being completely disagree and 5 being completely agree. Respondents had to justify their choice for each statement. Data collection was carried out from February 19 to March 5, 2024. Eight panelists participated in the survey. The statements were sent to the panelists via a web form. At the end of the panelist's evaluation round, the percentage of agreement for each question and the Cronbach's alpha index of the measuring instrument were analyzed. In the round where the Cronbach's alpha index is less than 0.7, statements with an agreement level of less than 75% are reformulated based on the respondents' justifications and a new version is submitted to the panelists for consideration. The level of agreement for each statement was calculated by the relationship between the sum of scores 4 and 5 given by respondents and the total number of respondents.

The panelists invited to the survey are 4 professionals with professional experience between 28 and 45 years old, holding management positions in their organizations: a CEO, a director and two managers, all working in different companies that apply or are suppliers of innovative I4.0 technologies. All panelists, except two that are masters, have PhD. The other four panelists are academics, all with a line of research in manufacturing management and professional experience between 20 and 35 years, one of whom has a PhD and the other three have a master's degree.

## 5. Results and Discussion

In the first round, the calculated Cronbach's alpha index was 0.22. The measuring instrument was assessed as having low reliability. The sixteen statements presented in the first round to the panelists, ten of them had an agreement level greater than 75%. The choices made by the panelists are presented in Table 1. The numbers filled in the rectangles are the number of panelists who chose the respective level on the Likert scale.

Table 1 - Compilation of panelists' levels of agreement for propositions in the first round

Digital Transition					Agreement Level	Digital Transformation					Agreement Level
S1.1					12.5%	S2.1					0%
4	2	1		1		2	4	2			
S1.2						S2.2					
2	1	1	4		50%			1	7		100%
S1.3						S2.3					
4	2	1		1	12.5%			1	7		100%
S1.4						S2.4					
1	2	4	1		12.5%			1	2	5	87.5%
Digital Potential					Agreement Level	Digital SupportProcess					Agreement Level
S3.1					87.5%	S4.1					37.5%
		1	1	6		1	1	3	2	1	
S3.2				2	6	S4.2			2	6	100%
				3	5	S4.3			3	5	100%
S3.3						S4.4			1	7	100%
S3.4			1	4	3						
Likert scale											
1	2	3	4	5		1	1	3	2	1	
Completely Disagree						Completely Agree					

As the Cronbach's alpha index is lower than 0.70, a second round was planned with the panelists, reformulating the statements with a percentage of agreement lower than 75% (S1.1; S1.2; S1.3; S1.4; S2.1 and, S4.1), based on the respondents' justifications for the lower degree of agreement. In the second round, the Cronbach's alpha index was 0.73, an adequate level for internal consistency. The minimum percentage of agreement of 75% was reached for all questions. Four of these reformulated statements have an index of 100%. As shown in Table 3.

Table 3 - Consolidation of statements with minimum level of agreement (75%) and in which round it was reached (1st or 2nd). The additions/modifications to the statement that occurred in the 2nd round are highlighted in bold.

Digital Transition			Digital Transformation		
	Agreement Level	Round		Agreement Level	Round
The new I4.0 technologies can be applied punctually, or even isolated in parts of manufacturing processes or support processes, by manufacturing companies: S1.1.1 without the need to formulate an organizational strategy. <b>Although a more integrated and broad approach will be more effective in maximizing the benefits and ensuring successful and sustainable implementation of these technologies.</b>	87.5%	2nd	The new I4.0 technologies can be applied by manufacturing companies in a more comprehensive way, considering more stages of production activities: <b>S2.1.1 but a more comprehensive implementation will generally require reviewing and adapting the organizational strategy over time.</b>	100%	2nd
S1.2.1 and although without radical changes to production processes, <b>It is often necessary to adjust existing processes to make the most of these technologies.</b>	100%	2nd	S2.2 in need of revisions in production processes to extract the potential of new technologies.	100%	1st
S1.3.1 and although without radical changes to production processes, <b>It is often necessary to adjust existing processes to make the most of these technologies.</b>	87.5%	2nd	S2.3 with the need to add or adjust systems.	100%	1st
S1.4.1 and it is likely that <b>some adaptations will be necessary over time</b> in the organizational structure, requiring a redefinition of roles and responsibilities, and adjustments in the organizational culture to better take advantage of the benefits of the new tools.	100%	2nd	S2.4 the organizational structure must have adjustments in positions and new functions to extract the potential of new technologies.	87.5%	1st

Digital Potential			Digital Support Processes		
	Agreement Level	Round		Agreement Level	Round
With the application of new I4.0 enabling technologies in all production operations:			The new enabling technologies of I4.0 can motivate the provision of improved services for manufacturing support, support and maintenance services:		
S3.1 there is potential for change in the organization's strategy, for example, offering customized products and adding services to the product.	87.5%	1st	S4.1.1 although a complete reformulation of the organizational strategy may not be mandatory, <b>specific adjustments will be necessary to fully take advantage of the potential of new technologies.</b>	100%	2nd
S3.2 can support greater levels of flexibility in production than was possible before the implementation of new technologies and significant changes to manufacturing processes are required to do so.	100%	1st	S4.2 reducing waste and/or helping with process stability and predictability.	100%	1st

S3.3	support greater levels of flexibility in production than was possible before the implementation of new technologies and integrated systems are needed both vertically (with a focus on management) and horizontally (with communication between machines and processes) to support this proposition.	100%	1st	S4.3	demanding systems to support the performance of support processes.	100%	1st
S3.4	Impacts changes in the organizational structure with the inclusion of new positions and new functions to support the management of these new technologies.	87.5%	1st	S4.4	changes to the organizational structure are necessary, specifically about the areas of maintenance, and manufacturing support to sustain the potential of innovative technologies.	100%	1st

It is possible to observe for the six assertions validated by the panelists in the second round that they were complemented to those presented in the first round. Based on the validation of the components of the conceptual framework model, it was possible to develop an I4.0 Strategic Alignment Model.

### 5.1. I4.0 Strategic Alignment Model

The I4.0 Strategic Alignment Model classifies the types of alignments into four perspectives, which should guide decisions made in technology, as is the proposal of the H&V model, but the classic model was not developed considering the new context offered by the rise of innovative I4.0 technologies.

In the **Digital Transition**, strategic alignment drives I4.0 paradigm initiatives. The new enabling technologies of I4.0 support the business strategy occasionally, not exploring the potential of innovative technologies. For example, organizations with initiatives in this focus are manufacturers that have projects, in many cases originating from a pilot, of improvements in specific process steps without necessarily having the purpose of integrating with other processes, systems, or resources. Gains achieved by actions with digital transition are not negligible, but they are specific and do not demand changes in the organizational structure to support the new implementations. Grab et al. (2019) predict the digital transition behavior. Figure 4 shows how the bases that support the Digital Transition strategic alignment (A) focus behave. As new embedded technology initiatives are punctual, processes and systems are little influenced by innovative technologies, making organizational structures still relevant to this alignment focus.

In **Digital Transformation**, the organizational strategy defines the guidelines for initiatives, including determining a technology strategy, even if tacitly. Processes, no longer restricted to process steps, are enhanced to a higher level using new I4.0 enabling technologies. Emerging technologies deployed improve information systems in generating, collecting, flowing, transferring, and processing data to support data-driven decision-making. The organizational structure undergoes adjustments to support the operational processes in this focus. Applications of digital transformation are the subject of study by several authors (Culot et al., 2020; Ghobakhloo, 2020; Kamble et al., 2020; Mugutkar&Kohir, 2018; Oluyisola et al., 2020). Figure 4 (B) presents the bases of Processes and Systems that are more predominant than structure. In fact, in Digital Transformation, the innovative technologies of I4.0 are more present in manufacturing, impacting both processes and systems to a greater extent, represented by the size of the balloons. The organizational structures of manufacturing are not yet impacted despite new positions and functions emerging to deal with new technologies, such as data analysts and systems analysts.

In the **Digital Potential**, the organization chooses to explore the competitive potential offered by the new enabling technologies of I4.0. Horizontal and vertical integrations result from technology investments (Kagermann et al., 2013; Nosalska et al., 2020). The I4.0 deployment models (Cordeiro et al., 2019), maturity (Geissbauer et al., 2016; Schuh et al., 2020), and readiness (Agca et al., 2017) meet with this focus,

therefore, define the path that the organization must follow to explore competitiveness towards a company that identifies value capture with I4.0 (Chiarini et al., 2020) from end to end of the product life cycle (Zheng et al., 2021). Terms such as servitization and mass customization (Chauhan et al., 2021; Zawadzki&Zywicki, 2016) are explored with the digital potential, in which the focus is to offer distinction and exclusivity to the consumer (Mourtzis et al., 2018). The natural impact of this perspective is the revision of the structure with the adoption of new functions that did not exist before in the organization. The balanced intensity of the base Processes, Structure, and Systems is presented in Figure 4 (C). In this focus there is a direct impact on the proposed bases with the new innovative technologies of I4.0.

In the **Digital Support Process**, technology strategy does not interfere with the organizational strategy, as also advocated by the service level perspective of the H&V model. Efforts are made towards a technology structure to improve the service provided to internal customers. They are reducing waste of time, material, and resources, streamlining production processes with fewer interruptions, making the results of production processes stable and predictable. Leveraging the enabling technologies of I4.0 for these purposes. Different authors (Grab et al., 2019; Ko et al., 2000; Marques et al., 2017) portray the use of technology to offer an improved level of service, in line with the perspective proposed in the conceptual model having the I4.0 innovative technologies as drivers. In the Digital Process Support, processes represent a greater effort by the organization to invest in new I4.0 technologies, specifically support processes, as seen in Figure 4 (D).

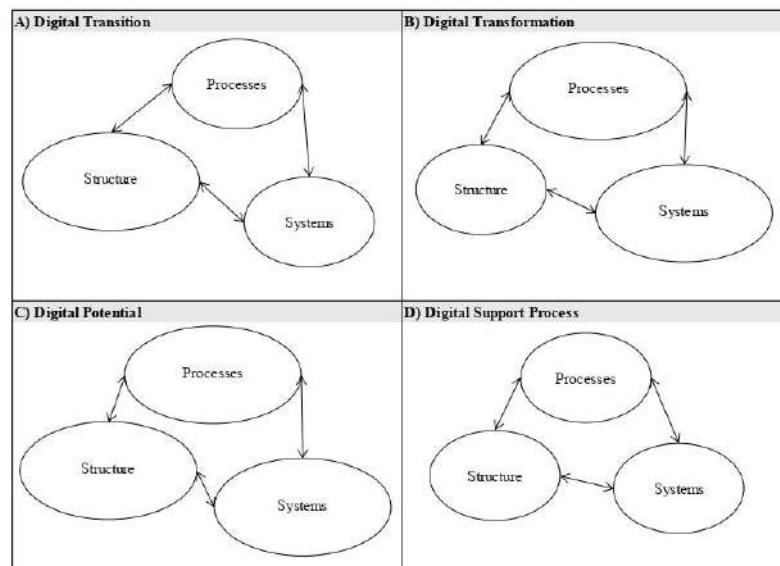


Figure 4. I4.0 Strategic Alignment Model - Representation of the combined intensity of resources: Processes, Structure, and Systems in the Focuses Digital Transition (A), Digital Transformation (B), Digital Potential (C), and Digital Support Process (D). The size of the bubble represents the degree of importance of the component to the perspective.

Answering the research questions:

- RQ 1: What are the components of a model proposition of strategic alignment that integrates the I4.0 enabling technologies?

A conceptual framework was made (figure 2) based on literature, combining four perspectives, adapted from H&V model to the context of Industry 4.0, with three identified components: processes, systems, and structure. This conceptual framework was the input to Delphi.

- RQ 2: How to classify the strategic alignment and I4.0 enabling technologies through the combination and intensity of the model's components?

Through the Delphi methodology, the relation between the 3 components and the 4 perspectives was traced. The results of this assessment allowed the development of the I4.0 Strategic Alignment Model (Figure 4).

The theoretical contribution of the model considering the enabling technologies of I4.0 lies in the characterization of the organization from a perspective (Digital Transition, Digital Transformation, Digital Potential and Digital Support Processes) that combines components (processes, systems, and structure) in different intensities.

In this sense, it's possible to say that the proposed model is a specialization of H&V model, considering new I4.0 technologies with their potential to incorporate competitive advantage for the organization of production with both automation and information systems solutions.

As a practical contribution, the model can be used by professionals to typify the strategic alignment regarding the use of I4.0 technologies in productive organizations and, thus, choose which perspective(s) the organization should prioritize in its strategic actions. The I4.0 Strategic Alignment Model does not restrict how emerging technologies are used.

### Conclusion

This research presents a proposal of a comprehensive model that supports the classification of strategic alignment practiced by a manufacturing organization, considering the emerging technologies of I4.0, based on the combination and intensity of the components that constitute said model. The main contribution of this study is to bring light to academics and professionals about the importance of applying new I4.0 technologies linked to the organization's strategic positioning so that it is not just an expense factor for the organization, but rather a competitive advantage, as well as it happens with all IT investments. For the organization that identifies which perspective best suits its purposes or that it considers most appropriate to its future objectives, it will

have a more appropriate path to follow. The assessment is not restricted to the organization, this analysis can be used to evaluate the company's competitors, what the market expects and the potential risks with new competitors.

In the same way as H&V model, the perspectives proposed in the model do not have prevalence or priority, since the choices must correspond to the way in which the organization wishes to apply the emerging technologies of I4.0. The option must be contingency, as it depends on the competitive dynamics of the market in which the company operates and its availability of resources. It is also likely that the company will be characterized by more than one perspective in each period but will have a dominant perspective with greater relevance.

Due to the nature of the research, this study has limitations. The first concerns the model, as it does not consider the typification of business strategy; therefore, it is not being analyzed exhaustively with an epistemological view on a level. The authors consider that studies on the strategy taxonomy could enrich the strategic alignment model, despite not compromising the results achieved. The second limitation concerns the research Delphi method, the methodology inherent to the research is theoretical, which must be tested in research quantitative studies based on surveys or qualitative research based on case studies to validate the conceptual model developed and, therefore, may be the subject of future research.

Future researches should encompass the use of the proposed taxonomy for analyzing case studies (in different kind of organizations, with different impacts of IT applications) and/or the data gathered by surveys.

#### Acknowledgements

This study was partially financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

#### Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

#### References

- Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Wyn Davies, C., & Xu, O. (2017). *An Industry 4 Readiness Assessment Tool*. International Institute for Product and Service Innovation. [www.warwick.ac.uk/SCIP](http://www.warwick.ac.uk/SCIP)
- Avison, D., Jones, J., Powell, P., & Wilson, D. (2004). Using and validating the strategic alignment model. *Journal of Strategic Information Systems*, 13(3), 223–246. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2004.08.002>

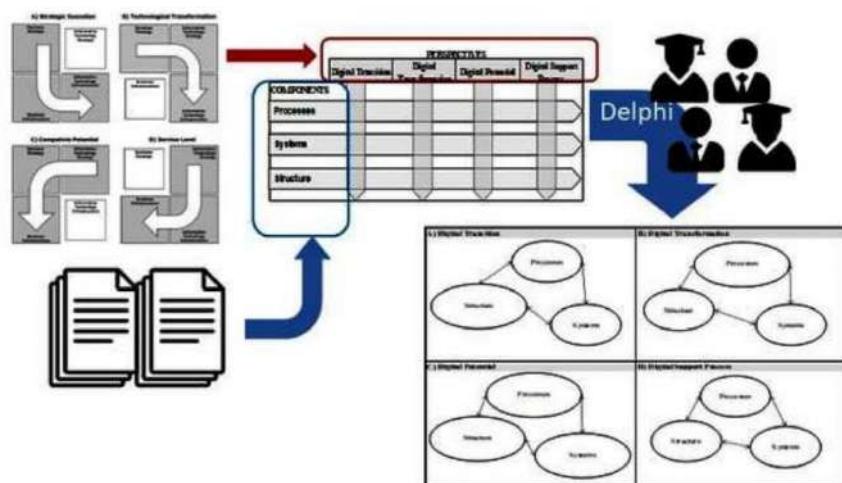
- Azman, N. A., & Ahmad, N. (2020). Technological capability in industry 4.0: a literature review for small and medium manufacturers challenges. *Journal of Critical Reviews*, 7(8), 1429–1438.
- Bouchard, S., Abdulnour, G., & Gamache, S. (2022). Agility and Industry 4.0 Implementation Strategy in a Quebec Manufacturing SME. *Sustainability*, 14(13), 7884. <https://doi.org/10.3390/su14137884>
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>
- Chan, Y. E., Huff, S. L., Barclay, D. W., & Copeland, D. G. (1997). Business Strategic Orientation, Information Systems Strategic Orientation, and Strategic Alignment. *Information Systems Research*, 8(2), 125–150. <https://doi.org/10.1287/isre.8.2.125>
- Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285.
- Chiarini, A. (2020). Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. *TQM Journal*, 32(4), 603–616. <https://doi.org/10.1108/TQM-04-2020-0082>
- Coleman, P., & Papp, R. (2006). *Strategic Alignment: Analysis of Perspectives*. <https://aisel.aisnet.org/sais2006/42>
- Cordeiro, G. A., Ordóñez, R. E. C., & Ferro, R. (2019). Theoretical proposal of steps for the implementation of the Industry 4.0 concept. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 166–179. <https://doi.org/10.14488/bjopm.2019.v16.n2.a1>
- Črešnar, R., Potočan, V., & Nedelko, Z. (2020). Speeding up the implementation of industry 4.0 with management tools: Empirical investigations in manufacturing organizations. *Sensors (Switzerland)*, 20(12), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s20123469>
- Crespo Marquez, A., & Gupta, J. N. D. (2006). Contemporary maintenance management: Process, framework and supporting pillars. *Omega*, 34(3), 313–326. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2004.11.003>
- Culot, G., Orzes, G., Sartor, M., & Nassimbeni, G. (2020). The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120092>
- Dalkey, N. (1969). An experimental study of group opinion: The Delphi method. In *Futures* (Vol. 1, Issue 5, pp. 408–426). [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(69\)80025-X](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(69)80025-X)

- Fakhri, A. B., Mohammed, S. L., Khan, I., Sadiq, A. S., Alkazemi, B., Pillai, P., & Choi, B. J. (2021). Industry 4.0: Architecture and Equipment Revolution. *Cmc-computers materials & continua*, 66(2), 1175–1194. <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012587>
- Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2021). Digitalisation and innovation in the steel industry in poland — selected tools of ict in an analysis of statistical data and a case study. *Energies*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/en14113034>
- Geissbauer, R., Vedso, J., & Schrauf, S. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise.* Retrieved from PwC Website.<https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Ghobakhloo, M. (2020). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–2405.
- Grab, B., Olaru, M., & Gavril, R. M. (2019). The impact of digital transformation on strategic business management. *Ecoforum Journal*, 8(1).
- Gu, F., Guo, J., Hall, P., & Gu, X. (2019). An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 57(5), 1458–1477.
- Henderson, J. C., & Venkatraman, H. (1993). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*, 38(2.3), 472–484.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Securing the future of German manufacturing industry Final report of the Industrie 4.0 Working Group.* <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs-A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229.
- Ko, E., Kincade, D., & Brown, J. R. (2000). Impact of business type upon the adoption of quick response technologies - The apparel industry experience. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(9), 1093–1111. <https://doi.org/10.1108/01443570010339172>
- Kumar, S., & Bhatia, M. S. (2021). Environmental dynamism, industry 4.0 and performance: Mediating role of organizational and technological factors. *Industrial Marketing Management*, 95, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.03.010>

- Kumar, V., & Ramachandran, D. (2021). Developing firms' growth approaches as a multidimensional decision to enhance key stakeholders' wellbeing. *International Journal of Research in Marketing*, 38(2), 402–424.
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(5), 467–482. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Lee, C.-H., Li, L., Wang, D., & Wee, H. J. (2022). Strategic servitization design method for Industry 4.0-based smart intralogistics and production. *Expert Systems with Applications*, 204, 117480. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117480>
- Lee, Chen, Lin, Li, & Zhao. (2019). Developing a Quick Response Product Configuration System under Industry 4.0 Based on Customer Requirement Modelling and Optimization Method. *Applied Sciences*, 9(23), 5004. <https://doi.org/10.3390/app9235004>
- Linh, N. P. K., Kumar, V., & Ruan, X. (2019). Exploring enablers, barriers, and opportunities to digital supply chain management in vietnamese manufacturing SMES. *International Journal of Organizational Business Excellence*, 2(2), 101–120.
- Marques, M., Agostinho, C., Zacharewicz, G., & Jardim-Gonçalves, R. (2017). Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(3), 299–313.
- Min, Y. K., Lee, S. G., & Aoshima, Y. (2019). A comparative study on industrial spillover effects among Korea, China, the USA, Germany and Japan. *INDUSTRIAL MANAGEMENT & DATA SYSTEMS*, 119(3), 454–472. <https://doi.org/10.1108/IMDS-05-2018-0215>
- Mitropoulos, S. (2021). An integrated model for formulation, alignment, execution and evaluation of business and IT strategies. *International Journal of Business and Systems Research*, 15(1), 90–111. <https://doi.org/10.1504/IJBSR.2021.111756>
- Mohamad, E., Abd Rahman, M. S., Rahman, A. A., Mohamad, N., Azlan, N. N., & Saptari, A. (2021). Investigation of The Awareness Level in Malaysia's Manufacturing Industries on the Implementation of Industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering*, 6(1), 53–66.
- Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., & Pittaro, P. (2018). Product-service system (PSS) complexity metrics within mass customization and Industry 4.0 environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 97(1–4), 91–103. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1903-3>
- Mugutkar, H., & Kohir, V. V. (2018). Industrial internet of things an effective manufacturing strategy for 21st century. *International Journal of Current Engineering And Scientific Research*, 5(4), 150–153.

- Nosaliska, K., Piatek, Z. M., Mazurek, G., & Rzadca, R. (2020). Industry 4.0: coherent definition framework with technological and organizational interdependencies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 837–862. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0238>
- Oluyisola, O. E., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2020). Smart production planning and control: Concept, use-cases and sustainability implications. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093791>
- Orellana, F., & Torres, R. (2019). From legacy-based factories to smart factories level 2 according to the industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(4–5), 441–451. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1609702>
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221(July), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- Ozbiltekin-Pala, M., Kazancoglu, Y., Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., & Luthra, S. (2024). Analyzing critical factors of strategic alignment between operational excellence and Industry 4.0 technologies in smart manufacturing. *The TQM Journal*, 36(1), 161–177. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0232>
- Pill, J. (1971). The Delphi method: Substance, context, a critique and an annotated bibliography. *Socio-Economic Planning Sciences*, 5(1), 57–71. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(71\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0038-0121(71)90041-3)
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 2015(October).
- Rehman, S. U., Bresciani, S., Zhang, Q., & Bertoldi, B. (2024). Tech and grow! Unraveling the interplay between industry 4.0 technologies and supply chain performance: marketing strategy alignment as a moderator. *International Entrepreneurship and Management Journal*. <https://doi.org/10.1007/s11365-024-00957-7>
- Sabherwal, R., & Chan, Y. E. (2001). Alignment Between Business and IS Strategies: A Study of Prospectors, Analyzers, and Defenders. *Information Systems Research*, 12(1), 11–33. <https://doi.org/10.1287/isre.12.1.11.9714>
- Santos, B. P., Enrique, D. V., Maciel, V. B. P., Lima, T. M., Charrua-Santos, F., & Walczak, R. (2021). The Synergic Relationship Between Industry 4.0 and Lean Management: Best Practices from the Literature. *Management and Production Engineering Review*, 12(1), 94–107. <https://doi.org/10.24425/mper.2021.136875>
- Schuh, G. G., Anderl, R., Gausemeier, J. J., ten Hompel, M. M., Wahlster, W. (Eds. ), Ander, Lr., Gausemeier, J. J., ten Hompel, M. M., & Wahlster, W. (Eds. ). (2020).

- Industrie 4.0 Maturity Index.Managing the Digital Transformation of Companies.*Acatech Study*, 64. www.acatech.de/publikationen.
- Scott, W. R. (1975). Organizational Structure. *Annual Review of Sociology*, 1(1), 1–20. www.annualreviews.org
- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready? *Polish Journal of Management Studies*, 17(1), 232–248.
- Srinivasan, R., & Swink, M. (2018). An Investigation of Visibility and Flexibility as Complements to Supply Chain Analytics: An Organizational Information Processing Theory Perspective. *Production and Operations Management*, 27(10), 1849–1867. <https://doi.org/10.1111/poms.12746>
- Ullah, A., & Lai, R. (2013).A systematic review of business and information technology alignment.*ACM Transactions on Management Information Systems*, 4(1). <https://doi.org/10.1145/2445560.2445564>
- Villalba-Diez, J., & Zheng, X. (2020). Quantum Strategic Organizational Design: Alignment in Industry 4.0 Complex-Networked Cyber-Physical Lean Management Systems. *Sensors*, 20(20), 5856. <https://doi.org/10.3390/s20205856>
- Whetten, D. A. (2003). O Que Constitui uma Contribuição Teórica? *RAE - Revista de Administração de Empresas*, 43(3), 69–73.
- Zawadzki, P., & Zywicki, K. (2016). Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Management and Production Engineering Review*, 7(3), 105–112. <https://doi.org/10.1515/mper-2016-0030>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>



## **APÊNDICE D – RELATO TÉCNICO DE PROGRAMA DE SOFTWARE**

### **RELATÓRIO**

### **PRODUÇÃO TÉCNICA – REGISTRO DE SOFTWARE**

**Título: Diagnóstico Alinhamento Estratégico e Indústria 4.0**

São Paulo, 28 maio de 2024

Nome do aluno: Gilberto Francisco de Oliveira

Registro Acadêmico (RA): 8210105

Nível: Doutorado

Tese: Um Modelo Explicativo do Alinhamento Estratégico na Indústria 4.0

Orientador: Professor Dr. Rodrigo Franco Gonçalves

## Descrição da finalidade do software

Oferecer ao respondente a oportunidade de identificar qual o alinhamento estratégico a organização de interesse se enquadra no que diz respeito ao uso das tecnologias emergentes da Indústria 4.0. O diagnóstico apoiará o respondente levantar potenciais oportunidades de planejamento para atingir o alinhamento mais apropriado para a empresa.

### 1. Avanços tecnológicos/Grau de inovação:

Combinação de conhecimentos pré-estabelecidos como alinhamento estratégico, mas com a aplicação das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

### 2. Docente Autor:

Nome: Professor Dr. Rodrigo Franco Gonçalves CPF: 254.863.258-00

### 3. Discentes Autores:

Nome: Gilberto Francisco de Oliveira, CPF: 099.855.508-89, Doutorando

Nome: Thomaz Henrique Viaro Bridi, CPF: 454.592.458-18, Mestrando

Nome: Davi de Albuquerque Gomes, CPF: 266.728.818-16, Mestrando

### 4. Conexão com a Pesquisa:

Projeto de Pesquisa vinculada à produção: Transformação Digital

Linha de Pesquisa vinculada à produção: L1 - Redes de Empresa e Planejamento de Produção

Área de concentração: Gestão de Sistemas e Operação

Artefato da Tese de Doutorado

### 5. Conexão com a Produção Científica

Artigo correlacionado a esta produção

Título: Strategic Alignment and Industry 4.0: An Explanatory Model

Periódico submetido: The Journal of Strategic Information Systems

Resumo: Artigo desenvolvido para validar os componentes do modelo proposto de alinhamento estratégico com a Indústria 4.0. A tipologia de alinhamento frente a aplicação de uso de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 considera o arranjo e intensidade dos componentes: Estruturas, Processos e Sistemas. A principal contribuição desse artigo é classificar o alinhamento estratégico em quatro perspectivas: Transição Digital, Transformação Digital, Potencial Digital e Processo de Suporte Digital.

### 6. Situação da Produção

Pedido do registro depositado no INPI, nº 29409192320347192

Registro concedido no INPI, nº BR 51 2024 001701-1

Código 730 - Expedição do Certificado de Registro

RPI 2786 de 28 de maio de 2024 – Programas de Computador – p.24

Título: Diagnóstico Alinhamento Estratégico Indústria 4.0

Data da Criação: 10 de maio de 2024

Data de Publicação: 21 de maio de 2024

Campo de Aplicação:

IF07-ciência da informação (sistema de informação, rede de informação, teoria da informação, fluxo de informação)

AD05-administração de empresa (administração, de negócios, privada, organização de empresas)

IN01 -indústria (política industrial, concentração industrial, produção industrial, pesquisa industrial, empresa industrial)

Tipo de Programa:

AP01 - aplicativos

AP02 - planejamento

FA01 - ferramenta de apoio

## 7. Aplicabilidade de Produção-tecnológica

O aplicativo, projetado como uma ferramenta de diagnóstico, auxiliará o usuário a identificar a perspectiva de alinhamento estratégico mais adequada para a organização em estudo, com base em 13 questões respondidas. A partir da classificação gerada pelo aplicativo, o usuário poderá compreender como as iniciativas em tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 apoiam o alinhamento estratégico na organização. Além disso, o aplicativo indicará a direção das ações necessários para alcançar o alinhamento estratégico desejado com base na descrição de cada uma das 4 perspectivas possíveis.

## 8. Natureza: computacional, aplicativo publicado em site web

### 9.1 Finalidade:

Oferecer ao respondente o diagnóstico do alinhamento estratégico com uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, caracterizando qual a perspectiva de alinhamento é a mais adequada: Transição Digital; Transformação Digital; Potencial Digital; Processo de Suporte Digital.

### 9.2 Plataforma

Front-end:

Site 1:

- Interface web com uso de HTML/CSS/JavaScript
- Framework: Angular

Site 2:

Interface web com uso de XML  
Framework: WordPress

Back-end:

Site 1:

Servidor web: node JS  
Hospedagem e implantação: Integrator Host do Brasil  
Disponibilidade: irrestrita  
Divulgação: do site web  
URL: <http://diagnosticoi4.tec.br/>

Site 2:

Servidor web: node JS  
Hospedagem e implantação: Umbler Host  
Disponibilidade: irrestrita  
Divulgação: do site web  
URL: <https://diagnosticoi4.com.br>

## 9. Documentos anexados

Canva com o algoritmo de cálculo para classificação em uma das 4 perspectivas  
Registro de Software no INPI

## Diagnóstico I4.0

Descubra o futuro digital da sua empresa

[SAIBA MAIS](#)



ao clicar em saiba mais avança para página Convite

## Estratégia e alinhamento em iniciativas da Indústria 4.0

### Você sabe onde está sua empresa no labirinto digital?

A Indústria 4.0 combina várias inovações tecnológicas usadas nos sistemas de serviços e meios de produção, mantendo uma conectividade integrada por meio da digitalização. Essa abordagem tem representado um desafio para as empresas, sendo um modelo industrial caracterizado pela auto-organização e autogestão de sistemas de produção completamente automatizados e interativos.

No entanto, diante das vastas oportunidades apresentadas pela Indústria 4.0, surge a questão de como identificar o valor através da implementação dessas novas tecnologias integradas na Indústria 4.0.

Este guia tem como objetivo ajudar a identificar se as decisões tomadas em sua empresa estão alinhadas com as estratégias organizacionais e as tecnologias emergentes da Indústria 4.0.

[SIGA AS INSTRUÇÕES ANTES DE RESPONDER](#)

ao clicar em siga as instruções... avança para página Instruções

Sempre conectado

Página 1 de 22

Sempre conectado

Página 2 de 22

Antes de começarmos, solicitamos que forneça algumas informações para auxiliar no projeto acadêmico que sustenta este sistema de diagnóstico.

Desde já, agradecemos!

Nome: \_\_\_\_\_

e-mail para contato: \_\_\_\_\_

Qual o mercado de atuação da empresa? \_\_\_\_\_

Qual o cargo que ocupa na empresa? \_\_\_\_\_

[CLIQUE AQUI PARA CONTINUAR](#)

Os dados de nome  
email  
ramo da empresa  
cargo ocupado  
devem ser armazenados em BD ou encaminhados por email

Ao clicar "clique aqui para continuar" avança para página Instruções

## Instruções

Nas próximas páginas, você encontrará afirmações para selecionar aquela que melhor descreve a sua empresa de manufatura.

[COMECE AQUI O SEU DIAGNÓSTICO](#)



ao clicar em comece aqui seu diagnóstico avança para página 1A QUESTAO

Sempre conectado

Página 3 de 22

Sempre conectado

Página 4 de 22

Soluções de Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 são aplicadas em sua organização:

- Pontualmente em operações produtivas, tornando os processos estáveis e menos suscetíveis a falhas.
- De forma mais abrangente em processos produtivos, o que exige uma revisão das operações produtivas envolvidas a fim de garantir eficiência e produtividade.
- De ponta-a-ponta nos processos produtivos, o que exigiu o redesenho das operações para agregar valor na entrega de produtos e serviços.
- Nos processos de suporte e manutenção, tendo em vista a oferta de serviços aos processos principais com mais qualidade e eficiência.

1a alternativa = 30 pontos =

2a = 40  
3a = 50  
4a = 10

Registrar como valor1

ao escolher a alternativa  
siga para página 2A QUESTAO

Soluções de Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 implicaram:

- Em mudanças pontuais na estrutura organizacional para suportar as novas tecnologias.
- Com ajustes e incorporação de novas funções na estrutura organizacional para suportar as novas tecnologias.
- Na criação de cargos e funções para lidar com as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.
- Novos cargos e funções foram incorporados nos processos de apoio e manutenção para gestão dos ativos fundamentados em novas tecnologias habilitadoras Indústria 4.0.

1a alternativa = 30 pontos

2a = 40  
3a = 50  
4a = 10

Registrar como valor2

ao escolher a alternativa  
siga para página 3A QUESTAO

Sempre conectado

Página 5 de 22

Sempre conectado

Página 6 de 22

Soluções de Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 implicaram:

- Em quase nenhuma integração a sistemas de informação, ou quando ocorreram foram pontuais.
- Em integração mais completa a sistemas de informação, para potencializar resultados de eficiência e produtividade.
- Total integração a sistemas de informação, tanto integração horizontal (entre máquinas e equipamentos) como vertical (Sistemas de Gestão).
- em integração em sistemas de informação para sustentar os sistemas de gestão de ativos.

1a alternativa = 30 pontos  
2a = 40  
3a = 50  
4a = 10

Registrar como valor3

ao escolher a alternativa  
siga para página 4A QUESTAO

Para uso eficiente das novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

- Não foram necessárias alterações substanciais na estratégia da empresa.
- A estratégia da empresa não foi revisada, apesar de impactada positivamente como as novas tecnologias.
- A estratégia empresarial foi revista com oferta de produtos e serviços, por exemplo, customizados em massa, maior flexibilidade de pedido e com menor lead time.
- A estratégia empresarial não foi revisada, apesar do impacto direto na prestação de serviços das áreas de suporte e manutenção da manufatura.

1a alternativa = 30 pontos

2a = 40  
3a = 50  
4a = 10

Registrar como valor4

ao escolher a alternativa  
siga para página 5A QUESTAO

Sempre conectado

Página 8 de 22

Sempre conectado

Página 7 de 22

A adoção das novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

- Não implicou em resultados superiores organizacionais.
- Mesmo que percebida a eficiência atingida, não representou em resultados superiores organizacionais.
- viabilizou a entrega de mais valor na concepção do cliente e dos acionistas tornando uma vantagem competitiva importante.
- Aumentou a eficiência dos processos de suporte e manutenção, resultando em tempo entre paradas de manutenção menor e tempo de parada menor. Viabilizando a manutenção preventiva como efetiva ferramenta de gestão.

1a alternativa = 30 pontos

2a = 40

3a = 50

4a = 10

Registrar como valor5

ao escolher a alternativa  
siga para página 6A QUESTAO

A adoção das novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

- Ainda não são bem conhecidas e dominadas pela organização quanto aos resultados que podem oferecer.
- são percebidos como diferencial na empresa para alguns setores produtivos.
- são percebidos e explorados por várias áreas da empresa, mesmo aquelas que não estão diretamente relacionadas à manufatura.
- São percebidas como vantagem importante na gestão de ativos.

1a alternativa = 30 pontos

2a = 40

3a = 50

4a = 10

Registrar como valor6

ao escolher a alternativa  
siga para página 7A QUESTAO

Sempre conectado

Página 9 de 22

Sempre conectado

Página 10 de 22

A adoção das novas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

- Está limitada a oferecer soluções pontuais em processos produtivos.
- Apesar de mais generalizada, ainda assim estão em respostas a melhorar desempenho de processos produtivos.
- São identificadas a partir do projeto do produto e influenciam toda a cadeia produtiva com vistas a oferecer valor agregado ao cliente.
- Tem permitido as áreas de apoio e manutenção oferecer serviços de qualidade para os processos principais de produção.

1a alternativa = 30 pontos

2a = 40

3a = 50

4a = 10

Registrar como valor7

ao escolher a alternativa  
siga para página 8A 9A 10A QUESTAO

## Instruções

Nas próximas páginas, encontrará um conjunto adicional de afirmações. Nele, será confrontado com declarações em posições opostas e deverá selecionar, numa escala de quatro níveis, a que melhor representa a sua empresa de manufatura.

[COMECE AQUI A SEGUNDA PARTE DO DIAGNÓSTICO](#)



ao clicar em comece aqui a segunda parte do diagnóstico avançar para página 8A e 9A QUESTOES

Sempre conectado

Página 11 de 22

Sempre conectado

Página 12 de 22

AS SOLUÇÕES DE TECNOLOGIAS SÃO APLICADAS PONTUALMENTE EM PROCESSOS DE PRODUÇÃO.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL NÃO TEVE ALTERAÇÕES SUBSTANCIAIS COM A NOVAS TECNOLOGIAS.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
AS SOLUÇÕES DE TECNOLOGIAS SÃO APLICADAS EM DIVERSOS PONTOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO.	<input type="radio"/>			
A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL TEVE ALTERAÇÕES COM A INCLUSÃO DE NOVOS FUNÇÕES E CAIXAS PARA LIDAR COM AS TECNOLOGIA DA 4.0.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Da esquerda para a direita

10 20 30 40  
Registrar como valor8

10 20 30 40  
Registrar como valor9

ao escolher as alternativa  
siga para página 10A 11A QUESTOES

OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO NÃO ESTÃO INTEGRADOS COM AS TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA 4.0.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
AS SOLUÇÕES DE TECNOLOGIAS SÃO APLICADAS EM PROCESSOS DE SUPORTE E MANUTENÇÃO DE ATIVOS.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESTÃO INTEGRADOS COM AS TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA 4.0.	<input type="radio"/>			
AS SOLUÇÕES DE TECNOLOGIAS SÃO RESTRITAS AOS PROCESSOS PRODUTIVOS.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

da esquerda para a direita

10 20 30 40  
Registrar como valor10

10 20 30 40  
Registrar como valor11

ao escolher as alternativas  
siga para página 12A 13A QUESTAO

Sempre conectado

Página 13 de 22

Página 14 de 22

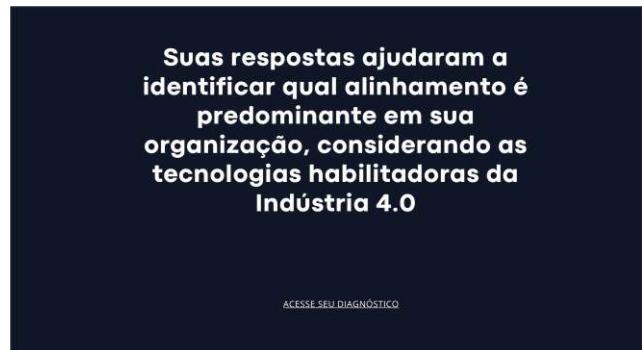
A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA MANUTENÇÃO NÃO TEVE ALTERAÇÕES SUBSTANCIAIS COM A NOVAS TECNOLOGIAS.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO APOIAM AS DECISÕES TOMADAS NA MANUTENÇÃO DOS ATIVOS.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
A ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA MANUTENÇÃO TEVE ALTERAÇÕES COM A INCLUSÃO DE NOVOS FUNÇÕES E CAIXAS PARA LIDAR COM AS TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA 4.0.	<input type="radio"/>			
OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO SÃO APLICADOS DE FORMA LOCALIZADA NA PRODUÇÃO.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

da esquerda para a direita

10 20 30 40  
Registrar como valor12

10 20 30 40  
Registrar como valor13

ao escolher todas as alternativas  
siga para página DIAGNOSTICO



Ao clicar Acesse seu Diagnóstico

\*/

```
// Lógica para verificar a soma e redirecionar para a página específica
function verificarSoma(formulario) {
    // Recuperar o valor da soma do formulário
    var soma = parseInt(formulario.valor1.value) + parseInt(formulario.valor2.value) +
    parseInt(formulario.valor3.value) +
    parseInt(formulario.valor4.value) + parseInt(formulario.valor5.value) +
    parseInt(formulario.valor6.value) +
    parseInt(formulario.valor7.value) + parseInt(formulario.valor8.value) +
    parseInt(formulario.valor9.value) +
    parseInt(formulario.valor10.value) + parseInt(formulario.valor11.value) +
    parseInt(formulario.valor12.value) +
    parseInt(formulario.valor13.value);
```

Sempre conectado

Página 15 de 22

Página 16 de 22

Sempre conectado

## Suporte a Processos Digitais

A sua empresa apresenta elevação para ter serviços de apoio e manutenção mais robustos para responder às necessidades de manufatura. Importante avaliar se os sistemas e processos implantados estão resultando em melhoria do desempenho do parque fabril com a direção escolhida.

Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa



```
// Verificar se a soma é até 250
if (soma <= 250) {
    // Redirecionar para a página Supoorte a Processos Digitais
```

Se clicar em "Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa" avançar para a página Quadrante de alinhamentos

## Transição Digital

A sua empresa apresenta iniciativas de implantação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Embora possa não ser preciso o investimento maior em novas tecnologias, é importante refletir se as tecnologias implantadas respaldam os resultados organizacionais esperados.

Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa



```
else if (soma >= 251 && soma <= 330) {
    // Redirecionar para a página de Transição Digital para soma entre 251 e 330
```

Se clicar em "Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa" avançar para a página Quadrante de alinhamentos

Sempre conectado

Página 17 de 22

Página 18 de 22

## Transformação Digital

A sua empresa apresenta o uso de novas tecnologias habilitadoras da 4.0 em seus processos. Essa consistência de soluções embarcadas exige, mesmo que de forma pontual, a estruturação de algumas funções para apoio e extrair resultados das novas tecnologias.

Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa



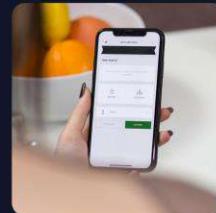
```
else if (soma >= 331 && soma <= 480) {
    // Redirecionar para a página de Transformação Digital para soma entre 331 e 480
```

Se clicar em "Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa" avançar para a página Quadrante de alinhamentos

## Potencial Digital

A sua empresa apresenta maturidade na implantação em tecnologias habilitadoras da 4.0. Dentro do espectro de oportunidades vislumbradas, é necessário refletir se há indicadores capazes de monitorar a agregação de valor conseguida com produtos e serviços oferecidos e que possam vir a oferecer.

Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa



```
else if (soma >= 481)
    // Redirecionar para a página Potencial Digital para soma for superior a 481
```

Se clicar em "Confira os diferentes tipos de alinhamentos estratégicos possíveis com a Indústria 4.0 e compare-os com a da sua empresa" avançar para a página Quadrante de alinhamentos

Sempre conectado

Página 19 de 22

Sempre conectado

Página 20 de 22

## Tipos de Alinhamentos Estratégicos com a Indústria 4.0

### TRANSIÇÃO DIGITAL

Empresas neste quadrante apresentam iniciativas de implementação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. As aplicações caracterizam-se por serem pontuais nos processos produtivos.

### TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Empresas neste quadrante apresentam aplicações de soluções de tecnologias habilitadoras de I4.0 bem mais abrangentes em processos produtivos. As implicações são tanto nos processos como também na estrutura, com adequação de cargos como em sistemas de informação para tratar de dados coletados na manufatura.

### PROCESSO DIGITAL

Empresas neste quadrante têm processos produtivos de ponta-a-ponta com aplicações de soluções de tecnologias habilitadoras de I4.0. A integração, a flexibilidade de programação e a visualização dos processos viabiliza a customização em massa da manufatura.

### SUporte DE PROCESSOS DIGITAL

Diferentes dos outros quadrantes, organizações aqui possuem investimentos mais intensificados nos serviços de apoio à produção, como a manutenção. Não representa que não há iniciativas tecnológicas na produção, mas que as área de suporte produtivo recebem prioridades para aprimorar os serviços prestados à manufatura.

Este sistema de diagnóstico é parte de um projeto acadêmico desenvolvido pelo Professor Mestre Gilberto Oliveira e pelo Professor Doutor Rodrigo Gonçalves. Caso necessite de mais informações, aprofundamento no diagnóstico, orientação para alcançar competitividade com a Indústria 4.0 ou esclarecimento sobre o projeto, por favor, entre em contato através dos meios indicados abaixo.

deoliveira.gilberto@gmail.com

rofranco212@gmail.com

Ao clicar nesta página, ir para a página Encerramento



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL  
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS  
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL  
DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS

## Certificado de Registro de Programa de Computador

**Processo Nº: BR512024001701-1**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 21/05/2024, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

**Título:** Diagnóstico Aprimoramento Estatístico Indústria 4.0

**Data de publicação:** 21/05/2024

**Data de criação:** 10/05/2024

**Titular(es):** GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA

**Author(es):** RODRIGO FRANCO GONÇALVES; THOMAZ HENRIQUE VIANO BRIDI; DAVI DE ALBUQUERQUE GOMES; GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA

**Linguagem:** HTML; JAVA SCRIPT; XML; CSS; NODEJS

**Campo de aplicação:** AD-05; IF-07; IN-01

**Tipo de programa:** AP-01; AP-02; FA-01

**Algoritmo hash:** SHA-512

**Resumo digital hash:**  
31922b291657903947086931205c2f72072429941204c435225f37ax03377ad18cf668716733052c204fd44-43634f50c39d0234e3f1e62ee9c354fe79a4

**Expedido em:** 21/05/2024

**Aprovado por:**  
Carla Alexandre Fernandes Sáva  
Chefe da DPTO

**APÊNDICE E – ARTIGO PUBLICADO EM *SHORT PAPER***

Submetido no *Journal Strategic Direct*

Autores: Gilberto Francisco de Oliveira e Rodrigo Franco Gonçalves

Strategic Direction



Strategic Dir

---

**Technologies enabling digital transformation in  
manufacturing:  
Industry 5.0 or Industry 4.1?**

Journal:	<i>Strategic Direction</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript Type:	Precis
Keywords:	Industry 5.0, Industry 4.0, manufacturing, management, transformation digital, strategy

SCHOLARONE™  
Manuscripts

1  
2  
3  
4

5                   **Technologies enabling digital transformation in manufacturing:**  
6                   **Industry 5.0 or Industry 4.1?**  
7  
8  
9

10                  1. Digital Transformation in Manufacturing  
11  
12  
13

14                  The profound impact of digital transformation on society is evident, as digital tools have  
15                  enabled the provision of previously unimaginable products and services. Building on the  
16                  momentum of digital technologies, Industry 4.0 (I4.0) emerged as a framework for  
17                  entrepreneurs, governments, organizations, and academics, showcasing how emerging  
18                  technologies can be integrated to achieve better performance at competitive costs. Initially, I4.0  
19                  focused primarily on efficiency gains from a mechanistic perspective. However, societal  
20                  pressures for a more holistic approach led to the concept of Industry 5.0 (I5.0). I5.0 emphasizes  
21                  human well-being, environmental sustainability, and operational effectiveness, while still  
22                  upholding the principles of I4.0.  
23  
24  
25  
26  
27  
28

29                  1.1. Industry 4.0  
30  
31  
32

33                  I4.0, introduced by Germany in 2011, aligns with the broader framework of the 4th  
34                  Industrial Revolution, which is a comprehensive production revolution affecting all economic  
35                  sectors. In contrast, I4.0 specifically focuses on industrial production, particularly extraction  
36                  and manufacturing. It integrates technological solutions aimed at automating processes,  
37                  creating a digital-physical environment, and interconnecting intelligent systems to enhance  
38                  productivity, customization, and quality, while reducing intervention and increasing  
39                  predictability in manufacturing outcomes (Rehman et al., 2024). This shift challenges  
40                  traditional paradigms by demonstrating that cost efficiencies can be achieved beyond  
41                  economies of scale or scope.  
42  
43  
44

45                  However, the excessive focus on technology often overlooks inherent drawbacks,  
46                  including:  
47

- 48                  • Social impact: Automation may lead to job loss, particularly for lower-skilled  
49                  positions;  
50                  • Ethical considerations: Unclear boundaries of algorithms and intelligent systems  
51                  raise privacy and security concerns;  
52                  • Financial investments: Transitioning to new business models requires significant  
53                  digital transformation investments with uncertain returns;  
54                  • Environmental concerns: I4.0 implementation may overlook sustainability  
55                  objectives.  
56  
57  
58  
59  
60

1

2

3

4

## 1.2. Industry 5.0

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

The European Commission published a publication describing I5.0 (Renda et al., 2022). Recognizing the rapid evolution of technology and the transformative impact of I4.0, this document highlights the need for industries to demonstrate adaptability and resilience (Xu et al., 2021). Considering the constraints associated with the technology-centric approach to I4.0, industries are encouraged to prioritize the following dimensions:

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

- Human-Centered Collaboration: I5.0 emphasizes the integration of human involvement with intelligent machines, valuing human creativity in problem-solving and decision-making;
- Sustainability: I5.0 prioritizes efficient resource utilization and environmentally conscious practices throughout the production lifecycle, using technologies and strategies to minimize environmental impact and promote social responsibility;
- Adaptability and Resilience: While Industry 4.0 focuses on adaptable and flexible systems to manage demand fluctuations, Industry 5.0 emphasizes the use of systems, artificial intelligence, collaborative networks, simulations, and human knowledge to more effectively adapt to the ever-changing business landscape;
- Enhanced Security and Privacy: I5.0 acknowledges cybersecurity risks in modern manufacturing networks and advocates for technologies that ensure data security and privacy across the entire manufacturing ecosystem;
- Collaborative Networks: Industry 5.0 acknowledges the significance of collaboration in fostering innovation in products and services. Key stakeholders such as customers, industry partners, suppliers, and governmental bodies assume pivotal roles in collaborative initiatives facilitated by digital technologies;
- Holistic Perspective: I5.0 promotes a comprehensive approach to digital technology application, considering broader socio-environmental impacts and taking proactive measures to mitigate these while pursuing operational efficiency.

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

Given the novelty inherent in I5.0, it is unsurprising that certain aspects remain less understood, including:

- Despite the emphasis on interoperability in both I4.0 and I5.0, convincing standards for seamless data exchange among systems within industrial networks remain lacking;
- Industry 5.0 stresses human collaboration with intelligent machines, requiring cognitive skill development. Educational systems must adapt to prepare workers for these roles;
- Although I5.0 acknowledges the importance of data privacy and security, concrete alternatives for ensuring prevention have yet to be established.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

As noted in section 1.1, while I4.0 is encompassed within the broader concept of the 4th Industrial Revolution, scholars generally consider the prospect of a "5th Industrial Revolution" to be far off<sup>1</sup>.

## 2. Is Industry 5.0 a paradigm shift compared to Industry 4.0?

I5.0 is presented as a next phase of I4.0, as reported by the European Commission, but what can be observed is that I5.0 is an evolution of I4.0 from the following points of view:

- The technological principles of I4.0 and I5.0 are the same, with both emphasizing Artificial Intelligence, Big Data Analytics, Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things. I5.0, however, adds a focus on human-machine collaboration and cooperative interaction;
- I5.0 emphasizes human-centricity and resilience, affirming a holistic vision in the use of technologies introduced by Industry 4.0;
- While I4.0 values sustainability and efficient resource use, I5.0 advances this by incorporating environmental impact analysis into technological initiatives;
- Customization and custom production are central to I5.0, but similar levels of customization can be achieved using I4.0 technologies.

### 2.1. Actions and Outcomes

Considering I5.0 not as a revolution, but as an evolution of I4.0 eliminates some gaps in understanding, including:

- Identifies that I5.0 is not a negation of I4.0 or a disruptive vision, but it supports the vision improved continuity;
- Investments in I4.0 technologies are not "lost" for organizations that wish to move towards I5.0, but rather orientation adjustments, when considering the social and environmental impacts of investments;
- Avoid reducing the importance and impact of research carried out in I4.0, since I5.0 shares the same principles;

As outcomes of this research, managers and academics should identify I5.0 with the following practical consequences:

- Investments made in I4.0 technologies must have drivers for integrated sustainability;

<sup>1</sup> Search for "5th industrial revolution" in Web of Science: 9 results; in Scopus: 33 results. Search for "4th industrial revolution" in Web of Science: 1688 results; in Scopus: 1287 results.

- 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
  - 10
  - 11
  - 12
  - 13
  - 14
  - 15
  - 16
  - 17
  - 18
  - 19
  - 20
  - 21
  - 22
  - 23
  - 24
  - 25
  - 26
  - 27
  - 28
  - 29
  - 30
  - 31
  - 32
  - 33
  - 34
  - 35
  - 36
  - 37
  - 38
  - 39
  - 40
  - 41
  - 42
  - 43
  - 44
  - 45
  - 46
  - 47
  - 48
  - 49
  - 50
  - 51
  - 52
  - 53
  - 54
  - 55
  - 56
  - 57
  - 58
  - 59
  - 60
- If before the objective with adopting I4.0 was process efficiency, now with I5.0 value must be added to the organization, therefore effectiveness;
  - Makes the process of evolution from the mechanistic vision of I4.0 to a social vision in I5.0, with man at the center of the use of technologies;
  - I5.0 as an evolution of I4.0 provides a multidisciplinary vision for the use of technologies, which will pragmatically affect the development and training of professionals.
  - It is premature to regard Industry 5.0 as a paradigm shift. I4.0 can be considered as part of the broad concept of 4<sup>th</sup> Industrial Revolution, but to consider a current 5<sup>th</sup> Industrial Revolution to cover I5.0 is an unsubstantiated claim.

## Conclusion

The suggested modifications in I5.0 aim to enhance aspects that were initially ambiguous or not fully addressed in I4.0. This evolution does not abandon the efficiencies achieved with I4.0 but rather integrates social and environmental considerations into technological advancement. I5.0 promotes a holistic approach, emphasizing a harmonious and interdisciplinary perspective when comparing it to I4.0, which helps guide investments and executive decisions effectively. The market needs oriented towards product customization and personalization are in themselves complex enough for organizations to face, not justifying the potentially misleading change with the name I5.0. Considering Industry 5.0 as a natural evolution from the principles established in Industry 4.0, lead us to reflection on whether the designation **Industry 4.1** might better represent, as a concept evolution, the inclusion of new but important elements within the framework of Industry 4.0. Of course, the term Industry 4.1 doesn't have the same appeal as Industry 5.0.

## References

- Federation, J. B. (2018). Society 5.0—co-creating the future. Keidanren: Tokyo, Japan.
- Rehman, S. U., Bresciani, S., Zhang, Q., & Bertoldi, B. (2024). Tech and grow! Unraveling the interplay between industry 4.0 technologies and supply chain performance: marketing strategy alignment as a moderator. *International Entrepreneurship and Management Journal*. <https://doi.org/10.1007/s11365-024-00957-7>
- Renda, Andrea., Schwaag Serger, Sylvia., Tataj, Daria., Morlet, Andrew., Isaksson, Darja., Martins, Francisca., Mir Roca, Montserrat., Hidalgo, C., Huang, Ailin., Dixson-Decleve, Sandrine., Balland, P.-Alexandre., Bria, Francesca., Charvériat, C., Dunlop, Kirsten., Giovannini, Enrico., & European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. (2022). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry*.

- 1  
2  
3  
4 Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—  
5 Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535.  
6 <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- 7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60
- 

## ANEXO A – PARECER DE COMISSÃO DE ÉTICA E PESQUISA



**UNIVERSIDADE PAULISTA -  
UNIP**



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### **DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Modelo Explicativo de Alinhamento Estratégico Indústria 4.0

**Pesquisador:** GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 76016923.4.0000.5512

**Instituição Proponente:** ASSOCIAÇÃO UNIFICADA PAULISTA DE ENSINO RENOVADO OBJETIVO-

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### **DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 6.583.349

**Apresentação do Projeto:**

Adequada.

**Objetivo da Pesquisa:**

Objetivo desta pesquisa é validar um modelo de alinhamento estratégico considerando as novas tecnologias da I4.0.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

não há. Será empregado o método Delphi, uma técnica de previsão e auxílio na tomada de decisões com base na opinião de especialistas. As respostas são anônimas, e interpretadas estatisticamente.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Não há

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

adequados

**Recomendações:**

não há

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

não há

**Endereço:** Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar  
**Bairro:** Vila Clementino  
**UF:** SP            **Município:** SAO PAULO  
**Telefone:** (11)5586-4086

**CEP:** 04.026-002

**E-mail:** cep@unip.br

Continuação do Parecer: 6.583.349

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Ressalta-se que cabe ao pesquisador responsável encaminhar os relatórios parciais e finais da pesquisa, por meio da Plataforma Brasil, via notificação do tipo "relatório" para que sejam devidamente apreciadas pelo CEP, conforme Norma Operacional CNS nr 001/12, item XI.2.d.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2238981.pdf	24/11/2023 10:31:39		Aceito
Outros	intencao.pdf	24/11/2023 10:30:58	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
Outros	Carta.pdf	24/11/2023 10:28:56	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
Folha de Rosto	Capa.pdf	24/11/2023 10:27:53	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2238981.pdf	23/11/2023 14:49:49		Aceito
Outros	Intencao.docx	23/11/2023 14:47:49	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Recusado
Outros	Carta.doc	23/11/2023 14:46:45	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Recusado
Folha de Rosto	Rosto.pdf	23/11/2023 14:46:02	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Recusado
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.docx	15/11/2023 21:09:36	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
Outros	frm_termo_de_compromisso_do_pesquisador.doc	15/11/2023 21:03:25	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
Orçamento	frm_orcamento_de_projeto_de_pesquisa.docx	15/11/2023 20:59:28	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento /	formulario_termo_de_consentimento_TCLE.docx	15/11/2023 20:59:06	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Aceito

**Endereço:** Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar

**Bairro:** Vila Clementino

**CEP:** 04.026-002

**UF:** SP

**Município:** SAO PAULO

**Telefone:** (11)5586-4086

**E-mail:** cep@unip.br



Continuação do Parecer: 6.583.349

Justificativa de Ausência	formulario_termo_de_consentimento_TOL.E.docx	15/11/2023 20:59:06	OLIVEIRA	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2238981.pdf	30/10/2023 18:48:59		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.pdf	30/10/2023 18:47:17	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Postado
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	30/10/2023 18:44:20	GILBERTO FRANCISCO DE OLIVEIRA	Postado

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

SAO PAULO, 15 de Dezembro de 2023

---

Assinado por:  
**Bettina Gerken Brasil**  
(Coordenador(a))

<b>Endereço:</b> Rua Dr. Bacelar, 1212 4º andar	<b>CEP:</b> 04.026-002
<b>Bairro:</b> Vila Clementino	
<b>UF:</b> SP	<b>Município:</b> SAO PAULO
<b>Telefone:</b> (11)5586-4086	<b>E-mail:</b> cep@unip.br