



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
TECNOLOGIA E GESTÃO SUSTENTÁVEIS -
PPGTecG

**GESTÃO AMBIENTAL E AS TECNOLOGIAS 4.0 PARA A
SUSTENTABILIDADE DAS INDÚSTRIAS DO VALE DO TAQUARI**

Lair Schirmer

Lajeado/RS, dezembro de 2023

Lair Schirmer

**GESTÃO AMBIENTAL E AS TECNOLOGIAS 4.0 PARA A
SUSTENTABILIDADE NAS INDÚSTRIAS DO VALE DO TAQUARI**

Dissertação de mestrado, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Sustentáveis - PPGTecG, da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Sustentáveis na área de Tecnologia e Gestão para Sustentabilidade, linha de pesquisa Gestão Sustentável da Cadeia de Produção e Consumo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Cândido da Silva
Cyrne

Lajeado/RS, dezembro de 2023

Lair Schirmer

**GESTÃO AMBIENTAL E AS TECNOLOGIAS 4.0 PARA A
SUSTENTABILIDADE NAS INDÚSTRIAS DO VALE DO TAQUARI**

A Banca examinadora abaixo aprova a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Sustentáveis - PPGTecG, da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Sustentáveis na área de Tecnologia e Gestão para Sustentabilidade:

Prof. Dr. Carlos Cândido da Silva Cyrne – Orientador
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Alexandre Feil
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Daniel Pedro Auler
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Samuel Martin de Conto
Universidade do Vale do Taquari – Univates

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão ao meu estimado orientador, Carlos Cândido da Silva Cyrne, pela orientação excepcional, paciência incansável e pela inspiração que proporcionou ao longo deste percurso. Sua expertise, apoio e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À coordenadora do programa de mestrado, Liana Johann, agradeço pela liderança eficiente e pelo suporte constante, que foram essenciais para a concretização deste projeto.

Aos professores que compartilharam seus conhecimentos durante o curso, expresse minha sincera gratidão. Cada aula, cada orientação e cada feedback foram inestimáveis para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À minha família, que sempre acreditou em mim e proporcionou o suporte emocional necessário, meu agradecimento especial. Suas palavras de encorajamento e compreensão foram a luz que guiou meu caminho durante os momentos desafiadores.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, compartilhando alegrias e desafios, agradeço pela amizade incondicional e pelo suporte constante. Sua presença tornou essa jornada mais rica e significativa.

Este trabalho não seria possível sem o apoio e contribuições dessas pessoas extraordinárias. A todos vocês, o meu mais profundo agradecimento. Este marco representa não apenas uma realização acadêmica, mas também uma celebração da colaboração e apoio que permearam esta jornada.

RESUMO

A integração entre a gestão ambiental e a Indústria 4.0, impulsionada por avanços tecnológicos e conscientização sustentável, destaca-se na fusão de tecnologias digitais e físicas. A Indústria 4.0, incorporando Internet das Coisas, Inteligência Artificial e automação, sinergiza-se à gestão ambiental, viabilizando coleta de dados em tempo real, análises precisas e controle remoto. Essas inovações otimizam processos, reduzem desperdícios e promovem eficiência. A gestão ambiental ganha estratégica relevância, integrando-se à governança corporativa, enquanto a sustentabilidade se torna diferencial competitivo. A pesquisa, conduzida com 30 empresas no Vale do Taquari revela estágios iniciais de integração, com foco em sistemas ciber-físicos e automação. Avaliações abrangem práticas relacionadas a consumo de energia, água e gestão de resíduos, via abordagem quali-quantitativa por questionários. As principais tecnologias da Indústria 4.0 destacadas incluem Sistemas Ciber-Físicos, Internet das Coisas, Big Data, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Integração Horizontal e Vertical, Segurança Cibernética e automação. Apesar da baixa adoção de IA e Big Data, evidenciam seu potencial em otimizar operações, reduzir desperdícios e promover a sustentabilidade. Resultados destacam benefícios percebidos pelas empresas, como redução de retrabalho e produtos descartados. A análise de impactos antecipados enfatiza melhorias na eficiência operacional. Recomendações visam maior adoção, com ênfase em conscientização, treinamento, incentivos financeiros, parcerias estratégicas e regulamentações específicas. Apesar de limitações, a pesquisa fornece valiosos insights, destacando a importância da colaboração interdisciplinar na aplicação prática dessas inovações. A interface entre tecnologia e sustentabilidade na Indústria 4.0 emerge como campo crucial, promovendo conscientização e efetiva integração dessas práticas no cenário industrial.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Indústria 4.0; Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The integration between environmental management and Industry 4.0, driven by technological advancements and sustainable awareness, stands out in the convergence of digital and physical technologies. Industry 4.0, incorporating the Internet of Things, Artificial Intelligence, and automation, synergizes with environmental management, enabling real-time data collection, precise analysis, and remote control. These innovations optimize processes, reduce waste, and promote efficiency. Environmental management gains strategic relevance, integrating into corporate governance, while sustainability becomes a competitive differentiator. The research, conducted with 30 companies in the Vale do Taquari, reveals early stages of integration, focusing on cyber-physical systems and automation. Assessments cover practices related to energy consumption, water, and waste management, through a qualitative-quantitative approach using questionnaires. Key Industry 4.0 technologies highlighted include Cyber-Physical Systems, Internet of Things, Big Data, Cloud Computing, Artificial Intelligence, Horizontal and Vertical Integration, Cybersecurity, and automation. Despite the low adoption of AI and Big Data, their potential to optimize operations, reduce waste, and promote sustainability is evident. Results emphasize perceived benefits such as reduced rework and discarded products. The analysis of anticipated impacts underscores improvements in operational efficiency. Recommendations aim for greater adoption, emphasizing awareness, training, financial incentives, strategic partnerships, and specific regulations. Despite limitations, the research provides valuable insights, emphasizing the importance of interdisciplinary collaboration in the practical application of these innovations. The intersection between technology and sustainability in Industry 4.0 emerges as a crucial field, fostering awareness and the effective integration of these practices into the industrial landscape.

Keywords: sustainability; industry 4.0; Environmental management.

SIGLAS

- CPS – *Cyber-Physical System* (Sistema Ciber-Físico)
- EC – Economia Circular
- GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
- GRI – *Global Reporting Initiative* (Norma)
- IA – Inteligência Artificial
- I 3.0 – Terceira Revolução Industrial
- I 4.0 – Quarta Revolução Industrial
- IOT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- ISO – *International Organization for Standardization*
- M2M – *Machine-to-Machine* (Máquina à Máquina)
- NFC – *Near Field Communication*
- ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PCD – Pessoas com Deficiência
- PDCA – *Plan, Do, Check and Act* (Planejar, Fazer, Verificar e Agir)
- PL – Produção Limpa
- PPGTecG – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Sustentáveis
- RFID – *Radio Frequency Identification*
- SASB – Conselho de Normas Contábeis de Sustentabilidade
- TBL – *Triple Bottom Line* (Tripé da Sustentabilidade)
- 7-D – Sete dimensões da sustentabilidade

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 6 |
| 1.1 Objetivo | 8 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 8 |
| 1.1.2 Objetivos específicos | 8 |
| 1.2 Justificativa | 9 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 2.1 Sustentabilidade | 10 |
| 2.2 Indústria 4.0 | 13 |
| 2.3 Sustentabilidade na indústria 4.0 | 22 |
| 2.4 Evolução da gestão ambiental na indústria..... | 25 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 28 |
| 3.1 Tipo de Pesquisa | 28 |
| 3.1.1 Quanto ao modo de abordagem:..... | 28 |
| 3.1.2 Quanto ao objetivo geral..... | 29 |
| 3.1.3 Com base nos procedimentos técnicos | 30 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 4.1 Quanto as empresas | 33 |
| 4.2 Com relação aos respondentes..... | 36 |
| 4.3 No que diz respeito ao eixo social da sustentabilidade | 37 |
| 4.4 Com relação ao eixo ambiental da sustentabilidade..... | 38 |
| 4.5 Quanto ao eixo econômico da sustentabilidade | 47 |
| 4.6 Com relação ao uso de tecnologias 4.0 | 49 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 52 |
| 6 REFERÊNCIAS | 56 |

1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais têm recebido atenção significativa em todo o mundo devido às crescentes preocupações com as mudanças climáticas, a escassez de recursos e a poluição. Essa conscientização aumentada tem levado as indústrias a adotarem práticas sustentáveis e integrarem considerações ambientais em suas operações. Uma abordagem que tem surgido como um importante impulsionador da sustentabilidade nas indústrias é a combinação da gestão ambiental e a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 (IPCC, 2021).

As reformas industriais ao longo da história desempenharam um papel significativo na evolução da situação ambiental e na gestão ambiental contemporânea. Inicialmente marcadas pela Revolução Industrial, essas transformações trouxeram avanços tecnológicos e econômicos, mas frequentemente à custa de impactos ambientais adversos. A industrialização acelerada resultou em emissões poluentes, degradação do solo e esgotamento de recursos naturais. No entanto, à medida que a consciência ambiental cresceu, as reformas industriais passaram a incorporar princípios de sustentabilidade e gestão ambiental. Normas mais rigorosas foram estabelecidas, incentivando práticas industriais mais limpas e a adoção de tecnologias mais sustentáveis. Hoje, as reformas industriais não apenas buscam eficiência econômica, mas também consideram os impactos ambientais, promovendo a transição para uma produção mais ecoeficiente e responsável. A gestão ambiental tornou-se uma parte integral das operações industriais, com empresas buscando práticas sustentáveis, redução de emissões de carbono e minimização do uso de recursos não renováveis. Dessa forma, as reformas industriais têm contribuído para moldar uma abordagem mais equilibrada entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental (VENTURELLI, 2017).

A gestão ambiental refere-se à abordagem estratégica e sistemática adotada pelas organizações para identificar, avaliar e mitigar seus impactos ambientais (ISO 14001:2015), envolve a implementação de políticas, procedimentos e práticas que promovem o uso sustentável de recursos, a redução de resíduos e a prevenção da poluição. Por outro lado, a Indústria 4.0 representa a Quarta Revolução Industrial caracterizada pela integração de tecnologias digitais, inteligência artificial e automação nos processos industriais (KAGERMANN et al., 2013).

A integração da gestão ambiental e as tecnologias da Indústria 4.0 oferecem um imenso potencial para alcançar metas de sustentabilidade nas indústrias. Essas tecnologias, incluindo a Internet das Coisas (IoT), análise de big data, computação em nuvem e robótica, permitem a coleta de dados em tempo real, análise e tomada de decisão. Ao aproveitar essas tecnologias, as indústrias podem monitorar seu desempenho ambiental, otimizar a utilização de recursos e reduzir sua pegada ecológica (BAG et al., 2020).

Os sensores de IoT, por exemplo, que são utilizados para coletar dados sobre o consumo de energia, emissões e geração de resíduos em tempo real, permitindo que as empresas identifiquem ineficiências e implementem melhorias direcionadas. A análise de *big data* analisa grandes volumes de dados ambientais para identificar padrões, tendências e áreas potenciais para otimização. A computação em nuvem facilita o armazenamento e compartilhamento de dados, permitindo uma colaboração contínua entre as partes interessadas para iniciativas sustentáveis (LOZANO, 2019).

Além disso, as tecnologias de robótica e automação contribuem para melhorar a eficiência de recursos, reduzir erros e aprimorar o controle de processos, resultando em uma produção otimizada com impacto ambiental mínimo. Tecnologias avançadas, como aprendizado de máquina e inteligência artificial, ainda aprimoraram a modelagem preditiva e a otimização, apoiando o desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis e processos de tomada de decisão (FAROOQ et al., 2020).

A integração das práticas de gestão ambiental e as tecnologias da Indústria 4.0 apresenta grande promessa para alcançar objetivos de sustentabilidade nas indústrias. Ao aproveitar dados em tempo real, análises, automação e inteligência artificial, as organizações melhoraram seu desempenho ambiental, reduzir o consumo de recursos e contribuir para um futuro mais sustentável. No entanto, a implementação bem-sucedida requer um esforço colaborativo entre os envolvidos na indústria, formuladores de políticas e provedores de tecnologia para incentivar a inovação, compartilhamento de conhecimento e desenvolvimento de estruturas de apoio (NEUMAYER, 2020).

No que se refere à estrutura desta dissertação de mestrado, ele se encontra dividido em quatro capítulos distintos. O primeiro capítulo se dedica à introdução, proporcionando uma exposição dos objetivos a serem alcançados. No segundo capítulo, é fornecido o alicerce da pesquisa, por meio de uma revisão bibliográfica substancial. O terceiro capítulo engloba uma descrição pormenorizada dos procedimentos metodológicos concebidos para atingir os objetivos originalmente delineados. No quarto capítulo, são exibidos e debatidos os resultados obtidos. Finalmente no Quinto capítulo, apresentasse as considerações finais.

O cerne deste estudo aborda a evolução da gestão ambiental e a implementação das

tecnologias 4.0 visando fortalecer a sustentabilidade na esfera industrial. A pesquisa se concentrou em identificar os princípios fundamentais das tecnologias da indústria 4.0 que promovem a sustentabilidade, além de avaliar sua aplicação na gestão ambiental das empresas na região do Vale do Taquari, Rio Grande Sul, Brasil, durante o ano de 2023. É importante ressaltar que este estudo se insere na área de Tecnologia e Gestão para Sustentabilidade, especificamente na linha de pesquisa de Gestão Sustentável da Cadeia de Produção e Consumo.

O foco central da pesquisa buscou compreender a dinâmica evolutiva das práticas de gestão ambiental nas indústrias do Vale do Taquari, especificamente em relação à adoção das tecnologias da indústria 4.0. A análise se concentrou em como essas tecnologias estão sendo incorporadas às estratégias de gestão ambiental das empresas da região, com o objetivo de promover uma maior sustentabilidade e eficiência em suas operações.

Ao explorar a progressão da gestão ambiental e o uso das tecnologias 4.0, a pesquisa buscou compreender o impacto dessas inovações no contexto industrial da região do Vale do Taquari, bem como identificar os desafios e oportunidades relacionados à adoção dessas tecnologias em prol da sustentabilidade ambiental. Dessa forma, o estudo visou contribuir para uma melhor compreensão do papel das tecnologias da indústria 4.0 na promoção da sustentabilidade nas indústrias locais e fornecer *insights* valiosos para futuras práticas e tomadas de decisão nesse campo.

1.1 Objetivo

Os objetivos estão divididos em objetivos gerais e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental de empresas localizadas na região do Vale do Taquari, Rio Grande Sul, Brasil, durante o ano de 2023, identificando os princípios fundamentais dessas tecnologias e sua contribuição para a promoção da sustentabilidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar a incidência e adoção das tecnologias da indústria 4.0 nas empresas localizadas na região do Vale do Taquari, analisando a implementação de práticas sustentáveis e o uso dessas tecnologias para a gestão ambiental;

- Avaliar os benefícios e impactos resultantes da aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas do Vale do Taquari, considerando aspectos como eficiência energética, redução de emissões, otimização de recursos naturais e melhoria da pegada ambiental;

- Propor recomendações para promover uma maior adoção e integração das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas do Vale do Taquari, visando uma maior sustentabilidade e competitividade no setor industrial;

1.2 Justificativa

A justificativa para a realização desta pesquisa reside na importância de compreender e analisar a aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas localizadas no Vale do Taquari. A convergência entre gestão ambiental e as tecnologias da indústria 4.0 apresenta um potencial significativo para impulsionar práticas sustentáveis e promover a eficiência ambiental nas indústrias (SMITH e SILVA, 2022).

No entanto, é necessário obter um panorama claro sobre a adoção e implementação dessas tecnologias na gestão ambiental, bem como avaliar seus impactos e benefícios específicos para as empresas da região (JABBOUR et al., 2020).

Compreender como as empresas estão utilizando as tecnologias da indústria 4.0 para promover a sustentabilidade ambiental permitirá identificar boas práticas, desafios e oportunidades relacionados a essa abordagem. Além disso, essa pesquisa contribuirá para a geração de conhecimento atualizado sobre o tema, fornecendo subsídios para a tomada de decisões estratégicas por parte das empresas e para o desenvolvimento de políticas públicas e diretrizes que incentivem a adoção dessas tecnologias no contexto da gestão ambiental (IVANOV et al., 2019).

Ao fornecer uma análise da relação entre gestão ambiental e as tecnologias da indústria 4.0, esta pesquisa busca auxiliar no avanço do campo de estudo e estimular o desenvolvimento de práticas empresariais mais sustentáveis. Ademais, a pesquisa contribui para a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e promove o debate acerca do uso das tecnologias como ferramentas para o alcance de metas ambientais (ZHU et al., 2021 e HUANG et al., 2022).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda de forma abrangente os temas da sustentabilidade, tecnologias da Indústria 4.0, sustentabilidade na indústria 4.0 e a evolução da gestão ambiental no contexto industrial. Inicialmente, é discutido o conceito de sustentabilidade e sua importância como um pilar fundamental para a busca de um desenvolvimento econômico e social equilibrado, levando em consideração a preservação do meio ambiente e a promoção da responsabilidade social. Em seguida, são apresentadas as tecnologias da Indústria 4.0, destacando suas características e potencial para aprimorar a eficiência e a competitividade das empresas, bem como suas possíveis contribuições para a sustentabilidade. Posteriormente, é abordada a relação entre sustentabilidade e a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 na indústria, destacando os benefícios e desafios enfrentados nessa busca por práticas mais sustentáveis. Por fim, discute-se a evolução da gestão ambiental na indústria ao longo do tempo, analisando como a adoção das tecnologias 4.0 tem influenciado e moldado as práticas de gestão voltadas para a preservação do meio ambiente e a promoção da sustentabilidade.

2.1 Sustentabilidade

O termo sustentabilidade emergiu durante a Conferência de Estocolmo em 1972, realizada na Suécia, como o primeiro evento organizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) para discutir questões ambientais, políticas de desenvolvimento humano e a importância da preservação dos recursos naturais. O evento atraiu a participação de 113 países e diversas organizações governamentais e não governamentais, resultando na criação do documento intitulado "Declaração sobre o Meio Ambiente Humano" (BELTRAMI et al., 2021).

Por outro lado, o conceito de desenvolvimento sustentável foi formulado e difundido pela Comissão sobre Desenvolvimento Sustentável na década de 1980. Sob a presidência de Gro Harlem Brundtland, a comissão discutiu questões relacionadas à preservação do planeta e ao atendimento

das necessidades humanas, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades. O resultado dessas discussões foi o documento intitulado "*Our Common Future*" (Nosso Futuro Comum), também conhecido como Relatório Brundtland, que destacou a incompatibilidade entre o desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo, ressaltando a necessidade de conciliar questões ambientais e sociais. Assim, tanto a Conferência de Estocolmo quanto o Relatório Brundtland desempenharam papéis fundamentais no estabelecimento e na disseminação dos princípios da sustentabilidade, reconhecendo a importância da preservação ambiental e a necessidade de repensar os modelos de desenvolvimento econômico em prol de uma abordagem mais equilibrada e sustentável (SCHWAB, 2017).

Segundo Feil e Schreiber (2019, p.76):

O conceito de desenvolvimento sustentável também aponta para uma clara afirmação de que o sistema global ou biosfera (humano-ambiental) compõem um único sistema indissociável, pois ao mencionar a expressão "gerações" podemos entender que está relacionada às gerações humanas passadas, presentes e futuras. Nesse sentido, a equidade intergeracional significa manter os recursos naturais do planeta em equilíbrio entre todos os seres vivos, ou seja, que integram o sistema da biodiversidade ou biosfera.

Dessa forma, o desenvolvimento sustentável é indispensável para a consecução da sustentabilidade, na qual seus princípios se tornam a base do desenvolvimento. A discussão em torno do termo sustentabilidade considera a necessidade de atender simultaneamente a três interesses, conhecidos como *Triple Bottom Line* (TBL): a) o **interesse social**, que busca nivelar as condições de vida atualmente distintas entre as classes baixas, médias e altas; b) o **interesse econômico**, que se baseia na geração de renda com o objetivo de melhorar as condições de vida; e c) o **interesse ambiental**, visando ao uso responsável dos recursos, substituindo os não-renováveis por renováveis ou reintegrando-os ao ciclo de produção, mantendo a capacidade de regeneração, depuração do planeta e redução dos impactos negativos (SILVA, CORREIA e NETO, 2020).

A sustentabilidade é adotada como uma técnica de desenvolvimento organizacional que, por meio do TBL, alivia a pressão sobre os sistemas ambientais, reduz o consumo de materiais, minimiza os impactos ambientais e resulta em uma melhoria na qualidade de vida. Isso se caracteriza como uma desmaterialização da atividade econômica, em favor da prestação de serviços ambientais (LIMA et al., 2019).

Segundo as opiniões de Savitz e Weber (2007), a sustentabilidade empresarial vai além da geração de lucro para os acionistas, pois também considera a proteção do ambiente natural e busca melhorar a qualidade de vida das partes interessadas, incluindo a comunidade. Isso resulta em uma mudança de paradigmas nas empresas de diversos setores, que passam a adotar novas estratégias para a geração de valor e inovação.

Por sua vez, Elkington (2012) argumenta que a sustentabilidade empresarial e governamental vai além dos três pilares do TBL, apresentando um desafio adicional aos executivos por meio de Sete

Dimensões (7-D). Aparentasse exaustivo ou até mesmo impossível, mas aqueles que atuam nas Sete Dimensões estão caminhando em direção a corporações sustentáveis. Essas Sete Dimensões abrangem diferentes áreas e paradigmas, incluindo mercado (competição), valores (maleáveis), transparência (abertura), tecnologia do ciclo de vida (funcionalidade), parcerias (simbiose), tempo (extensão) e governança corporativa (inclusão).

O avanço da tecnologia de fabricação, juntamente com as mudanças de paradigmas, deu origem à Quarta Revolução Industrial, também conhecida como indústria 4.0 (I4.0), que representa um novo padrão de política econômica baseado em tecnologias avançadas (HE:LABS, 2018).

A sustentabilidade e a Indústria 4.0 estão cada vez mais interligadas, à medida que as empresas buscam adotar práticas sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais e sociais. A Indústria 4.0, com sua ênfase na digitalização, automação e integração de sistemas, oferece oportunidades significativas para melhorar a eficiência operacional, reduzir o consumo de recursos, minimizar resíduos e promover a produção sustentável. Por meio do uso de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas, a inteligência artificial e a computação em nuvem, as empresas monitorarão e controlarão seus processos de forma mais eficiente, otimizando o uso de energia, água e matéria-prima. Além disso, a Indústria 4.0 possibilita a implementação de práticas de Economia Circular, promovendo a reutilização, a reciclagem e a remanufatura de produtos, prolongando sua vida útil e reduzindo o impacto ambiental. Ao adotar a Indústria 4.0 de forma sustentável, as empresas podem alcançar uma maior competitividade no mercado, atender às demandas dos consumidores por produtos eco-friendly e contribuir para a construção de uma economia mais verde e inclusiva (RIZOS, BEHRENS e VAN BERKEL, 2016).

No entanto, é importante destacar que a adoção da Indústria 4.0 com foco na sustentabilidade vai além da implementação de tecnologias avançadas. Envolve também uma mudança de mentalidade e cultura organizacional, que valorize a responsabilidade ambiental e social. Isso requer a promoção da educação e conscientização dos colaboradores sobre práticas sustentáveis, bem como a colaboração entre empresas, governos e sociedade civil para desenvolver políticas e regulamentações que incentivem e promovam a adoção da Indústria 4.0 sustentável. Além disso, a integração da sustentabilidade nos modelos de negócios e estratégias empresariais é fundamental para garantir que a Indústria 4.0 seja uma ferramenta efetiva para promover o desenvolvimento sustentável, considerando não apenas os aspectos econômicos, mas também os sociais e ambientais (SOUZA, 2018).

2.2 Indústria 4.0

O termo "indústria 4.0" surgiu em 2011 durante a Feira de Hannover, a principal feira global de automação industrial que ocorre anualmente na Alemanha. No entanto, antes da Quarta Revolução Industrial, ocorreram outras revoluções industriais anteriores (BRETTEL et al., 2014).

A primeira revolução industrial, que ocorreu no século 19, marcou uma transição significativa na economia, passando de uma base agrícola para um avanço notável na indústria têxtil com a introdução de fábricas mecanizadas movidas a vapor. A segunda revolução industrial estabeleceu a produção em massa, com o uso intensivo de aço e eletricidade nas fábricas. A Terceira Revolução Industrial surgiu na década de 1960 com a adoção de tecnologias que substituíram técnicas analógicas e mecânicas (CLARK, 2021).

Atualmente, observa-se uma nova tendência de completa digitalização de processos e descentralização da manufatura, impulsionada pelo uso da "Internet das Coisas" e sistemas ciberfísicos, caracterizando a Quarta Revolução Industrial. Originada do ideal alemão de liderar o mercado por meio de soluções avançadas, essa revolução é marcada pela implementação da digitalização da manufatura e adoção de tecnologias de ponta (JOLY e RONDÓ, 2017).

As reformas industriais, da Revolução Industrial à Indústria 4.0, moldaram a situação ambiental contemporânea. Inicialmente impulsionadas por avanços econômicos e tecnológicos, essas transformações muitas vezes resultaram em impactos ambientais adversos. No entanto, a atual fase da Indústria 4.0 destaca-se por integrar princípios sustentáveis, oferecendo eficiência operacional e potencialidades para o progresso sustentável, incluindo redução de tempo de configuração, prazos de entrega mais curtos, diminuição de custos e melhorias no bem-estar ocupacional. Essa abordagem reflete uma mudança para uma indústria mais equilibrada entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental, com a gestão ambiental desempenhando um papel central nesse processo. (KUMAR, BHATIA, 2021).

Para Sacomano et al. (2018), são considerados elementos fundamentais para a Indústria 4.0:

- **Sistemas ciber-físicos**

Englobam o *Cyber-Physical System* (CPS), aplicações informáticas, dispositivos sensoriais e componentes eletrônicos numa evolução das tecnologias de conectividade, como a internet e a acessibilidade a dados armazenados na nuvem, que viabilizam uma interconexão entre os processos produtivos físicos e virtuais, possibilitando um monitoramento exato e flexível, bem como a tomada de decisões adequadas em tempo real para a resposta a falhas operacionais. Os sistemas ciber-físicos podem representar a solução para questões de caráter global, como a governança de metrópoles, a

segurança, as alterações climáticas, entre outras (SANCHES, CARVALHO e GOMES, 2018).

Os sistemas ciberfísicos desempenham um papel fundamental na transformação da indústria, impulsionando a era da Indústria 4.0. Esses sistemas integram a computação com o mundo físico, permitindo a interconexão e colaboração entre máquinas, dispositivos e pessoas. Eles são capazes de coletar, analisar e compartilhar dados em tempo real, permitindo uma tomada de decisão mais eficiente e adaptativa. Os CPS na Indústria 4.0 estão revolucionando a forma como as fábricas operam, proporcionando maior eficiência, flexibilidade e personalização na produção. Eles permitem a automação de processos, a otimização de recursos e a manutenção preditiva, melhorando a produtividade e reduzindo custos. Além disso, os CPS oferecem novas oportunidades de inovação, como a integração com a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), que potencializam a capacidade de aprendizado e adaptação dos sistemas. Os benefícios dos Sistemas Ciberfísicos são vastos e promissores, abrindo caminho para a criação de fábricas inteligentes e altamente conectadas (LEE e LEE, 2015).

- **Internet das Coisas (IOT)**

A Internet das Coisas (IoT) utiliza a infraestrutura da internet como canais de comunicação, estabelecendo uma ligação entre entidades digitais e físicas, permitindo um acesso global a qualquer momento e local, resumindo-se a uma representação virtual fiel do ambiente de produção. A interação ocorre entre emissor e receptor, podendo ser Máquina-Máquina ou humano-máquina, diferenciando-se da internet convencional, na qual ambos os envolvidos são seres humanos (BAG et al., 2020).

A Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) está se tornando uma realidade cada vez mais presente na nossa sociedade. Trata-se de um sistema de interconexão de dispositivos físicos, veículos, eletrodomésticos e outros objetos por meio da Internet, permitindo a coleta e o compartilhamento de dados entre eles. A IoT oferece um vasto campo de aplicações, desde a automação residencial até a gestão inteligente de cidades. Na indústria, a IoT tem um papel fundamental na Indústria 4.0, permitindo a criação de fábricas inteligentes e altamente eficientes. Por meio da coleta e análise de dados em tempo real, a IoT proporciona insights valiosos para melhorar a produtividade, otimizar processos, prever falhas em equipamentos e tomar decisões mais informadas. Além disso, a integração da IoT com outras tecnologias, como a Inteligência Artificial e a análise de *big data*, impulsiona a capacidade de aprendizado e adaptação dos sistemas (ATZORI, IERA, e MORABITO, 2010).

- **Elementos estruturantes**

Diversas aplicações são atribuídas aos elementos fundamentais, na era da Indústria 4.0 estão

presentes a comunicação Máquina a Máquina, o gerenciamento de grandes volumes de dados (*Big Data*), a integração de sistemas, a utilização de Inteligência Artificial, a automação, a comunicação baseada em nuvem e a segurança cibernética (NEUGEBAUER et al., 2016).

Os elementos estruturantes são fundamentais para a implementação e funcionamento eficiente dos sistemas ciberfísicos e da Internet das Coisas na Indústria 4.0. Esses elementos são responsáveis pela estruturação e organização dos sistemas, garantindo a interconexão e colaboração entre os diversos componentes envolvidos. Alguns dos elementos estruturantes chave incluem (LU, XU e LIU, 2017):

Redes de Comunicação: São responsáveis pela transmissão de dados entre os dispositivos e sistemas conectados. Podem incluir redes de sensores sem fio, redes de área local (LAN) e redes de longa distância (WAN), que possibilitam a comunicação em tempo real e a troca de informações de forma eficiente.

Tecnologias de Identificação: Permitem a identificação única e rastreabilidade dos objetos e dispositivos conectados. Isso pode ser alcançado por meio de tecnologias como códigos de barras, RFID (*Radio Frequency Identification*), NFC (*Near Field Communication*) e outras tecnologias de identificação por radiofrequência.

Plataformas de Gerenciamento: São responsáveis por integrar e gerenciar os dispositivos, dados e aplicações relacionadas à Indústria 4.0. Essas plataformas oferecem recursos de monitoramento, controle e análise de dados em tempo real, permitindo uma visão abrangente e centralizada do sistema.

Segurança Cibernética: É um elemento essencial para proteger os sistemas ciberfísicos e a Internet das Coisas contra ameaças e ataques. Medidas de segurança devem ser implementadas para garantir a confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados e dispositivos conectados.

- **Automação**

A automação viabiliza a correção de desvios de operação ou ajustes de parâmetros por meio de dispositivos ou equipamentos, dispensando a intervenção humana no processo (VENTURELLI, 2017).

A automação desempenha um papel essencial na Indústria 4.0, possibilitando a criação de fábricas inteligentes e altamente eficientes. Por meio da integração de tecnologias como robótica, Inteligência Artificial e conectividade, a automação permite a automação de processos produtivos, logísticos e de manutenção, resultando em aumento de eficiência, redução de custos, melhoria da qualidade do produto e flexibilidade na produção (LEE, BAGHERI e KAO, 2015).

- **Comunicação Máquina a Máquina (M2M)**

A comunicação Máquina a Máquina, também conhecida como *Machine-to-Machine* ou M2M, consiste na interligação em tempo real de duas máquinas por meio de conexões por cabo ou sem fio, exigindo assim uma sincronia precisa entre os sistemas. Em grande parte dos casos, uma das máquinas é responsável por coletar os dados para posterior envio a um software, o qual interpreta as informações e as transmite para a outra máquina, permitindo que esta utilize os parâmetros inferidos para realizar ajustes no processo. Atualmente, é possível estabelecer conexões diretas entre máquinas que se assemelham ao funcionamento avançado do cérebro humano, adaptando-se automaticamente à detecção de falhas no processo físico (FURSTENAU et al., 2020).

A comunicação Máquina a Máquina é vital na Indústria 4.0, permitindo a troca de informações e dados entre diferentes dispositivos e sistemas de forma autônoma. Essa comunicação é possível por meio de redes de comunicação, como a Internet das Coisas (IoT), e é impulsionada por avanços tecnológicos como sensores, dispositivos conectados e protocolos de comunicação padronizados. A M2M na Indústria 4.0 possibilita o monitoramento em tempo real, o compartilhamento de dados e a coordenação de atividades entre máquinas, resultando em maior eficiência, tomada de decisões mais assertivas e otimização de processos produtivos (KAUR e KAUR, 2021).

- **Inteligência artificial (IA)**

A Inteligência Artificial (IA) possibilita que um sistema adquira a capacidade de tomar decisões semelhantes às de um ser humano, através de aprendizados obtidos por meio de avaliações realizadas pela máquina durante o processo. A IA é resultado da transferência de uma porção da inteligência humana para a máquina, permitindo que ela opere e resolva problemas, como, por exemplo, a produção personalizada de acordo com a demanda, garantindo qualidade e rastreabilidade (DOPICO, 2016).

A IA impulsiona a automação e a tomada de decisões inteligentes. A IA refere-se à capacidade das máquinas de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como o processamento de linguagem natural, o reconhecimento de padrões e a aprendizagem automática. Na Indústria 4.0, a IA é aplicada em diversas áreas, como manufatura, logística, manutenção preditiva e otimização de processos. Por meio da análise avançada de dados, os sistemas de IA identificam tendências, prever falhas em equipamentos, otimizar a eficiência e melhorar a qualidade do produto. Além disso, a IA permite a interação natural entre humanos e máquinas, facilitando a colaboração e o uso intuitivo das tecnologias (MOURTZIS e VLACHOU, 2020).

- **Big data**

O conceito de *Big Data* refere-se ao método de lidar com conjuntos de dados de proporções tão vastas que não seriam processados eficientemente por meio de sistemas convencionais. O gerenciamento desses dados por meio do *Big Data* permite otimizar a eficiência dos processos, reduzindo o consumo de recursos, como insumos e energia. A combinação da computação em nuvem com a análise de dados do *Big Data* estabelece um fluxo de informações totalmente online, com velocidade de transmissão, possibilitando o armazenamento para acesso e análise futuros (LOZANO, 2019).

O *Big Data* proporciona uma quantidade enorme de dados que são coletados, armazenados e analisados para obter insights valiosos. O termo "*Big Data*" refere-se a conjuntos de dados extremamente volumosos, complexos e variados, que não seriam facilmente processados pelos métodos tradicionais de gerenciamento de dados. Na Indústria 4.0, o *Big Data* é gerado por meio de sensores, dispositivos conectados e sistemas de monitoramento em tempo real. Esses dados são analisados usando técnicas avançadas, como mineração de dados, aprendizado de máquina e Inteligência Artificial, para identificar padrões, tendências e relações ocultas. Com base nesses insights, as empresas podem tomar decisões mais informadas, otimizar processos, melhorar a qualidade do produto e antecipar problemas. O *Big Data* na Indústria 4.0 oferece oportunidades de inovação e competitividade, permitindo uma tomada de decisão baseada em evidências e impulsionando a transformação digital nas empresas (ZHANG, XU e LI, 2018).

- **Computação em nuvem**

A computação em nuvem, como modelo tecnológico, tem como objetivo proporcionar o acesso a dados de forma rápida e eficiente, independentemente do momento ou local, resultando em uma redução de tempo e aumento da eficiência, o que conseqüentemente leva a uma diminuição de custos nos processos (BAG e PRETORIUS, 2020).

Também oferece recursos computacionais escaláveis e flexíveis para suportar as demandas crescentes de processamento, armazenamento e análise de dados. A computação em nuvem permite que empresas acessem serviços, aplicativos e dados remotamente, por meio da Internet, sem a necessidade de infraestrutura local robusta. Na Indústria 4.0, a computação em nuvem é utilizada para hospedar e gerenciar sistemas de informações, plataformas de análise de dados e aplicações inteligentes. Ela fornece capacidade de processamento sob demanda, armazenamento escalável e recursos de colaboração, facilitando a integração de sistemas, compartilhamento de dados e colaboração entre diferentes atores da cadeia produtiva. Além disso, a computação em nuvem oferece benefícios como redução de custos, flexibilidade, segurança e atualizações automáticas de software

(MARSTON et al., 2011).

- **Sistemas de integração horizontal e vertical**

Os sistemas devem estar interligados e em constante comunicação com outros sistemas, a fim de evitar falhas de conexão ou discrepâncias na interpretação das informações. Nesse sentido, os sistemas de integração horizontal e vertical desempenham um papel fundamental ao garantir a total interconexão dos sistemas, permitindo uma troca perfeita de dados. As integrações promovem a interligação de diferentes áreas de uma indústria, como produção, logística, manutenção e departamento comercial, e também se estender às interações externas para o planejamento e a alocação de recursos corporativos (STOCK e SELIGER, 2016).

A integração horizontal e vertical permite a conectividade e colaboração eficientes entre diferentes componentes e processos de uma cadeia produtiva. A integração horizontal refere-se à conexão entre diferentes empresas, fornecedores e parceiros ao longo da cadeia de valor. Isso é facilitado pela troca de dados em tempo real, compartilhamento de informações e cooperação em atividades como logística, produção e distribuição. Já a integração vertical envolve a interconexão dos diferentes níveis hierárquicos de uma organização, desde o chão de fábrica até a gestão executiva. Isso permite o fluxo contínuo de informações e dados entre diferentes sistemas, como sistemas de controle de produção, sistemas de gerenciamento de estoque e sistemas de planejamento e controle. A integração horizontal e vertical na Indústria 4.0 promove a visibilidade, eficiência e tomada de decisão ágil, além de melhorar a coordenação e sincronização dos processos ao longo da cadeia de valor (GHOBAKHLOO e TANG, 2021).

- **Segurança cibernética**

A Indústria 4.0 é fundamentada na interconexão dos sistemas, e para garantir proteção contra ameaças cibernéticas, é necessário implementar medidas de segurança que evitem falhas e influências indesejadas prejudiciais. A segurança cibernética tem como objetivo proteger os equipamentos e os dados conectados à rede (BERAWI, 2019).

A segurança cibernética garante a proteção dos sistemas e dados em um ambiente altamente conectado. Na Indústria 4.0, onde os dispositivos, máquinas e sistemas estão interconectados, a segurança cibernética torna-se ainda mais crítica para prevenir ataques cibernéticos, vazamento de informações sensíveis e interrupções nas operações. A segurança cibernética na Indústria 4.0 envolve a implementação de medidas de proteção, como autenticação robusta, criptografia de dados, segurança em redes de comunicação e detecção de ameaças em tempo real. Além disso, a conscientização e a capacitação dos funcionários são essenciais para garantir boas práticas de

segurança cibernética em toda a organização (FAROOQ et al., 2020).

As revoluções industriais demandam um longo período de amadurecimento para se estabelecerem. Conforme afirmou Aristóteles (384-322 a.C.): "o todo é maior do que a simples soma de suas partes". Portanto, devemos encarar a Indústria 4.0 como um todo que se completa por meio de suas partes, em vez de visualizá-las separadamente (RIZO, 2016). Encerrasse aqui a descrição dos conceitos fundamentais e propomos a discussão sobre a visão de outros autores em relação às tecnologias da Indústria 4.0 e seus impactos. Essa visão também é apresentada sob a perspectiva das áreas de influência, conforme a seguir:

Fábrica: Envolverá um sistema de integração entre recursos e sistemas operacionais, resultando em uma fábrica autogerenciável. Nesse contexto, o controle de processos será realizado e o planejamento de produção será simulado por meio de sistemas descentralizados que atuam de forma independente (EROL et al., 2016).

A dependência de tecnologia e possíveis interrupções no sistema resultam em paralisações e perdas de produção. Além disso, os desafios de segurança cibernética são uma preocupação constante, já que a interconectividade e digitalização dos sistemas expõem as fábricas a ameaças e ataques que comprometem a operação e a segurança dos sistemas (ZHANG, ZHU e YIN, 2021).

Negócio: A conectividade em rede possibilitará a comunicação entre empresas, fábricas, fornecedores, logística, recursos e clientes, permitindo que cada parte contribua, em tempo real, para a gestão do processo (BAG et al., 2020).

Contudo, os investimentos em tecnologia e infraestrutura são desafiadores, especialmente para empresas de menor porte. A rápida evolução tecnológica também exige atualizações frequentes e altos custos de adaptação para manter a competitividade (GUNASEKARAN e NGAI, 2020).

Produtos: Denominados como "produtos inteligentes", aqueles que se beneficiam da Indústria 4.0 possuem sistemas de orientação aos clientes, fornecendo feedback à fábrica e permitindo a otimização de design e manutenções programadas (SANCHES, CARVALHO e GOMES, 2018).

A introdução de tecnologias avançadas aumenta os custos de produção, o que acaba impactando o preço final dos produtos. Além disso, a rápida obsolescência tecnológica exige atualizações constantes para acompanhar o ritmo do mercado, o que pode ser um desafio para as empresas (LIAO et al., 2017)

Clientes: Uma nova forma de compra é estabelecida, na qual o cliente tem a possibilidade de personalizar o produto de acordo com suas preferências, independentemente da quantidade adquirida. Alterações serão permitidas a qualquer momento, até o último instante, sem custos adicionais (NEUGEBAUER et al., 2016).

A falta de interação humana em alguns processos leva a uma diminuição na experiência personalizada e no atendimento ao cliente. Além disso, preocupações com a privacidade dos dados afetam a confiança dos clientes em compartilhar informações (KOWALKOWSKI et al., 2020).

Funcionários: Serão necessárias novas competências e habilidades, ao passo que algumas funções serão automatizadas e deixarão de existir. O trabalho físico será substituído por habilidades cognitivas, sociais e sistêmicas, com ênfase na capacidade de resolução de problemas. Isso acarretará uma mudança tanto na cultura pessoal quanto na cultura organizacional, exigindo uma participação ativa e qualificada por parte das lideranças. Além disso, será necessário um planejamento estratégico na educação e qualificação dos funcionários, buscando alcançar um alto desempenho tanto dos trabalhadores quanto das instalações produtivas (SOUZA, 2018).

A automação e a adoção de tecnologias avançadas levam à substituição de mão de obra, resultando em desemprego e exigindo requalificação. Mudanças nas responsabilidades e habilidades dos trabalhadores geram incerteza e resistência durante o processo de transformação (RAMESH, RAVI e GUNASEKARAN, 2020).

Sustentabilidade Ambiental: A Indústria 4.0 tem o potencial de trazer benefícios ambientais, como o uso de energias alternativas geradas internamente nas plantas, a redução de resíduos (embora estes possam ser de baixa qualidade) e emissões atmosféricas. Os produtos serão projetados com elementos reutilizáveis, recicláveis ou remanufaturáveis. Em termos de sustentabilidade social, a alta tecnologia dos processos contribuirá para a saúde ocupacional e a segurança dos trabalhadores no dia a dia (BARWOOD et al., 2015).

A Indústria 4.0 também busca impactar positivamente a sustentabilidade ambiental, pois a otimização de processos, o monitoramento em tempo real e a análise de dados permitem a redução do consumo de energia, a minimização de resíduos e a implementação de práticas mais sustentáveis na cadeia de produção (SINGH, BANSAL e JAIN, 2020), assim como a produção de dispositivos tecnológicos geram resíduos eletrônicos, aumentando o impacto ambiental. Além disso, o aumento da conectividade e do consumo de energia resultam em maior demanda por recursos naturais e emissões de carbono (MISHRA, KUMAR e SUSHIL, 2021)

Produtividade e Eficiência: A adoção de tecnologias avançadas, como automação, robótica, Inteligência Artificial e análise de dados, impulsiona a produtividade e eficiência dos processos industriais. Isso resulta em maior produção, menor desperdício, redução de custos e aumento da competitividade das empresas (AGRAWAL, GANS e GOLDFARB, 2020).

A dependência de sistemas tecnológicos complexos aumenta a vulnerabilidade a falhas, interrupções e tempo de inatividade. Além disso, a curva de aprendizado e adaptação às novas tecnologias pode afetar temporariamente a produtividade dos funcionários (ROMERO et al., 2017).

Inovação e Flexibilidade: A Indústria 4.0 estimula a inovação, permitindo o desenvolvimento de produtos e serviços personalizados, além de modelos de negócios mais flexíveis. A capacidade de adaptação rápida às demandas do mercado e a capacidade de customização em massa são fatores-chave nesse contexto (BIRCHNELL e URRY, 2020).

A rápida obsolescência tecnológica torna os investimentos em inovação menos duradouros. Além disso, a dependência de tecnologia limita a flexibilidade para mudanças rápidas no mercado (MELÃO, FERREIRA e GONÇALVES, 2020).

Qualificação e Emprego: A transformação digital da indústria traz novos desafios em termos de qualificação e emprego. A demanda por habilidades digitais aumenta, enquanto algumas funções tradicionais são substituídas pela automação. Isso requer investimentos em educação, requalificação e adaptação dos trabalhadores às novas demandas do mercado (WORLD ECONOMIC FORUM, 2020).

A substituição de trabalhadores por automação levará ao desemprego e exigirá esforços de requalificação em larga escala. Além disso, a necessidade de habilidades digitais pode criar lacunas de qualificação e desigualdades no acesso a empregos (EUROFOUND e CEDEFOP, 2021).

Conectividade e Integração: A Indústria 4.0 promove a conectividade e a integração entre diferentes atores e sistemas ao longo da cadeia de valor. Isso facilita a colaboração entre empresas, fornecedores e clientes, resultando em cadeias de suprimentos mais eficientes e colaborativas (RÖGLINGER et al., 2021).

Quanto à conectividade e integração, a dependência de redes e sistemas de comunicação tornam as fábricas mais vulneráveis a ataques cibernéticos e interrupções. A interoperabilidade entre diferentes sistemas e fornecedores é um desafio, levando a problemas de integração (LU, PAPADOPOULOS e LI, 2020).

Assim, as tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo adotadas por diversos setores, resultando em altos níveis de personalização do produto, com design sustentável e considerando ciclos de vida fechados "do berço ao berço", levando em consideração o bem-estar do consumidor. Ainda, é crucial reconhecer os possíveis impactos negativos e adotar medidas adequadas para mitigá-los. A compreensão e ações proativas são essenciais para garantir que os benefícios da Indústria 4.0 sejam alcançados sem comprometer as diferentes dimensões da fábrica, negócios, produtos, clientes, funcionários, sustentabilidade ambiental, produtividade e eficiência, inovação e flexibilidade, qualificação e emprego, e conectividade e integração (PORTER & HEPPELMANN, 2017).

A Indústria 4.0, com suas tecnologias avançadas, promoverá a sustentabilidade na indústria, reduzindo desperdício e consumo de recursos. No entanto, isso exige um compromisso contínuo, considerando todo o ciclo de vida dos produtos e colaboração com parceiros na cadeia de

suprimentos para impulsionar a inovação sustentável. A sustentabilidade na Indústria 4.0 não se limita apenas à adoção de tecnologias avançadas, mas também envolve uma revisão completa de processos, comportamentos e valores, com o objetivo de construir um futuro industrial mais equilibrado e resiliente (SERRANO e KARAGIANNIDIS, 2021; PANETTO et al., 2020).

2.3 Sustentabilidade na indústria 4.0

Diversos desafios ambientais são resultantes da industrialização, que é impulsionada pelo consumismo em larga escala, ocasionando um consumo insustentável de recursos naturais não renováveis. A fim de evitar que as futuras gerações sejam afetadas por tais problemas, é necessário desenvolver soluções adequadas (TIWARI e KHAN, 2020).

A participação da Indústria 4.0 tem como objetivo reduzir os impactos negativos da industrialização por meio da adoção de novas práticas tecnológicas, promovendo assim o desenvolvimento sustentável, em total consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Esses objetivos englobam a erradicação da pobreza, a criação de empregos, o crescimento econômico, a inovação e a infraestrutura, alinhados ao âmbito econômico. Além disso, incluem a erradicação da fome, o acesso à saúde e à educação de qualidade, a justiça, a paz, a igualdade de gênero, correspondendo ao âmbito social. Também abarcam questões relacionadas ao saneamento básico e água potável, à energia limpa e acessível, às cidades sustentáveis e comunidades, à produção responsável, à vida terrestre, à vida aquática e às ações climáticas, contemplando o âmbito ambiental. Os ODS representam um interesse comum na busca por metas que empresas e países devem alcançar para promover o desenvolvimento. A Indústria 4.0 é capaz de beneficiar todos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, por meio do conceito de *Triple Bottom Line* (TBL), que deve ser considerado no planejamento e na alocação de investimentos nas organizações. A Indústria 4.0 está relacionada ao TBL, mas com maior enfoque na área ambiental e pouca abrangência na área social (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 2018).

A Indústria 4.0 emerge como um catalisador para avançar na realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), oferecendo soluções inovadoras que aprimorarão diversos indicadores. A integração de tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e automação avançada possibilita uma abordagem mais eficiente e sustentável nos processos industriais. Ao reduzir desperdícios, otimizar recursos e melhorar a eficiência operacional, a Indústria 4.0 contribui diretamente para indicadores-chave relacionados a metas específicas dos ODS, como o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e o ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis). Além disso, a implementação da Indústria 4.0 tem o potencial de influenciar positivamente indicadores

socioeconômicos, contribuindo para a redução das desigualdades (ODS 10) por meio da criação de oportunidades de emprego e melhorias nas condições de trabalho. A visão abrangente e interconectada da Indústria 4.0 não apenas alinha-se com os ODS, mas também aponta para melhorias tangíveis em indicadores específicos, impulsionando a sustentabilidade em diversas dimensões (KAGERMANN, WAHLSTER, e HELBIG, 2013).

Portanto, as organizações devem desenvolver valores e práticas empresariais éticas que estejam em sintonia com a nova revolução industrial, a fim de gerenciar um ambiente cada vez mais complexo e dinâmico (KAZANCOGLU, p. 2, 2021). De acordo com a teoria da legitimidade, as empresas estão adotando práticas sustentáveis em busca da legitimação perante os acionistas. A teoria da legitimidade propõe que, ao agir de maneira socialmente responsável, as empresas buscam garantir a aprovação e aceitação da sociedade em geral e de seus *stakeholders*, incluindo acionistas. Portanto, as empresas de manufatura precisam ampliar seu foco além da maximização dos lucros e abordar questões ambientais e sociais, adaptando seus processos produtivos por meio da Indústria 4.0. (KUMAR, BHATIA, 2021).

Existem estudos científicos que conectam a Indústria 4.0 e a produção sustentável, no entanto, as tecnologias da Indústria 4.0 permitem inferir ganhos sustentáveis, como a Produção Limpa (PL) por meio dos sistemas ciberfísicos, que possibilitam uma gestão eficaz do uso de recursos naturais, redução de desperdícios e reutilização desses recursos. Isso está alinhado com o conceito central da Economia Circular, que se baseia na produção como um ciclo fechado, maximizando a vida útil dos recursos (DE ARAÚJO e DE QUEIROZ, 2017).

A Economia Circular (EC) busca inserir no processo produtivo o que já perdeu o valor comercial em sua funcionalidade inicial, em contraste com a visão linear da economia que considera o fim da vida útil do produto. A EC reduz a extração de recursos naturais e promove a reciclagem desses recursos, resultando na redução de resíduos e na utilização de energias provenientes de fontes renováveis, contribuindo para a qualidade do ar. Algumas dificuldades são enfrentadas na implementação da Economia Circular, incluindo os altos custos de configuração e interação na cadeia de suprimentos (BELASCO, 2020).

Outro benefício da Indústria 4.0 é a possibilidade de projetos de produção sustentável por meio da Internet das Coisas e da computação em nuvem. Essa abordagem permite a produção em massa sem a necessidade de excesso de ativos físicos, reduzindo o desperdício de matéria-prima e de insumos com valor ambiental, como água, além de evitar poluição e utilizar recursos e energia de forma controlada (FURSTENAU et al., 2020).

A gestão de habilidades de liderança, a autoconfiguração dos layouts dos postos de trabalho e a incorporação de maior segurança ocupacional nos processos contribuem para o bem-estar dos

funcionários, permitindo que estendam suas carreiras profissionais, permaneçam produtivos e substituam tarefas rotineiras por atividades criativas e de valor agregado. A Indústria 4.0 oferece condições para que os trabalhadores possam equilibrar a vida pessoal e o desenvolvimento profissional, melhorando a qualidade de vida e aumentando a produtividade (SCHWAB, 2017).

No entanto, há um aspecto crítico e controverso a ser considerado, que indica que a disponibilidade de empregos será reduzida em cerca de 20%, limitando-se aos trabalhadores qualificados em habilidades cognitivas, intelectuais e multidisciplinares, devido ao processo de automação em busca de maior produtividade. Apenas 20% dos trabalhadores serão beneficiados, e alguns cargos e posições serão eliminados, resultando no chamado "desemprego tecnológico", o que tende a aumentar a desigualdade social devido à disparidade salarial (SOUZA, 2018).

Para impulsionar o desenvolvimento tecnológico da Indústria 4.0 e tornar a indústria mais eficiente e sustentável, são necessários investimentos e colaborações entre os setores público e privado, incorporando o desenvolvimento sustentável em suas políticas. Isso possibilitará benefícios socioeconômicos, ajustes culturais e a redução dos desperdícios que geram impactos ambientais (SANTOS et al., 2018).

Considerando o panorama geral, a literatura apresenta inúmeros pontos positivos, mas ainda há muito a ser definido em relação à Indústria 4.0, seus impactos e a sustentabilidade empresarial para uma fabricação sustentável. Alguns aspectos precisam ser mais desenvolvidos, como os programas de análise do ciclo de vida. A sustentabilidade ambiental deve ser preparada para ser abordada em novas tecnologias, integrando matérias-primas, recursos e consumo responsável em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável a longo prazo (SANCHES, CARVALHO e GOMES, 2018).

Esses desafios exigem uma cultura organizacional focada em inovação e aprendizado, assim como a participação acadêmica para trazer conhecimento científico para a implementação de tecnologias sustentáveis por meio de novos métodos e maior clareza sobre a contribuição da Indústria 4.0. Os benefícios da Indústria 4.0 estão em desenvolvimento e o potencial completo ainda não é totalmente conhecido, sendo objeto de estudo em diversas áreas. Estima-se que a Indústria 4.0 tenha a capacidade de elevar os rendimentos globalmente, melhorando a qualidade de vida (KUMAR e BHATIA, 2021).

Para uma melhor compreensão dos impactos nos âmbitos social, econômico e ambiental causados pela Indústria 4.0, torna-se a realizar uma avaliação por meio de uma metodologia bem estruturada (ALMEIDA, 2018).

2.4 Evolução da gestão ambiental na indústria

A gestão ambiental na indústria passou por um processo evolutivo significativo até chegar à implantação das tecnologias da Indústria 4.0. Inicialmente, as preocupações ambientais eram mínimas, com a indústria focada principalmente na maximização da produção e na minimização de custos, sem considerar adequadamente os impactos ambientais negativos (NEUMAYER, 2020).

Com o tempo, as empresas começaram a reconhecer a necessidade de adotar práticas de gestão ambiental para cumprir as regulamentações ambientais e evitar consequências legais. Isso marcou o início da fase de conformidade ambiental, em que as organizações buscavam atender aos padrões e normas ambientais estabelecidos (VACHON e KLASSEN, 2020).

Conforme a conscientização sobre os problemas ambientais aumentou, a gestão ambiental evoluiu para uma abordagem mais abrangente e proativa. As empresas começaram a implementar sistemas de gestão ambiental, como a ISO 14001, que forneciam diretrizes para identificar e gerenciar os aspectos ambientais de suas operações (JOLLY e RACHURI, 2021).

No entanto, a gestão ambiental ainda era vista como uma área separada das atividades principais da indústria. Isso começou a mudar com a adoção de práticas de produção mais limpas e sustentáveis, que buscavam minimizar o desperdício, reduzir o consumo de recursos e diminuir a poluição. Essa abordagem ecoeficiente marcou uma nova fase na evolução da gestão ambiental (KIRITSIS & FERREIRA, 2021).

A próxima etapa na evolução da gestão ambiental foi o reconhecimento de que os desafios ambientais não podiam ser abordados isoladamente, mas requeriam uma abordagem mais holística. A gestão ambiental integrada foi desenvolvida, considerando não apenas as operações internas da empresa, mas também as interações com fornecedores, clientes e outras partes interessadas (DANG, DENG e ZHU, 2021).

Com a crescente digitalização e automação dos processos industriais, a gestão ambiental entrou em uma nova era com a chegada da Indústria 4.0. As tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), a Inteligência Artificial (IA) e o *Big Data* permitiram a coleta massiva de dados ambientais em tempo real, fornecendo informações detalhadas sobre o desempenho ambiental das operações (WANG ET AL., 2020).

A análise desses dados em tempo real possibilitou uma tomada de decisão mais informada e estratégica em relação à gestão ambiental. As empresas puderam identificar áreas de ineficiência e implementar medidas corretivas de forma rápida e eficiente, resultando em melhorias no desempenho ambiental (LI, ZHANG e SU, 2021).

Além disso, a digitalização e a automação permitiram a otimização dos processos de

produção, levando a uma redução no consumo de energia e materiais, bem como na geração de resíduos. Os algoritmos inteligentes ajudaram a melhorar a eficiência energética, a qualidade dos produtos e a minimizar os impactos ambientais (WESTKÄMPER, 2014).

Outro avanço significativo na gestão ambiental na Indústria 4.0 é a capacidade de rastrear e monitorar produtos em toda a cadeia de suprimentos. Isso possibilita a identificação de fornecedores sustentáveis, a verificação da procedência dos materiais e a garantia de práticas ambientais responsáveis em todas as etapas do processo produtivo (STENTOFT, ANDERSEN e ANDERSEN, 2021).

Além disso, a colaboração entre os diferentes atores da cadeia de valor foi aprimorada com a Indústria 4.0. Através da conectividade e do compartilhamento de informações em tempo real, as empresas colaborarão com fornecedores e clientes para melhorar a sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos (SPIEGLER e PRENDINGER, 2021).

A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 também permitiu a transição para modelos de negócios mais circulares e sustentáveis. A Economia Circular, que envolve a redução, reutilização, reciclagem e recuperação de recursos, é facilitada pela digitalização e pela rastreabilidade de produtos, que permitem um melhor gerenciamento do ciclo de vida dos materiais (RIZOS, BEHRENS e VAN BERKEL, 2016).

Estudos realizados globalmente têm se dedicado a analisar os impactos da Indústria 4.0 na gestão ambiental, delineando uma transformação fundamental na relação entre tecnologia e sustentabilidade. A revolução industrial atual, marcada pela integração de tecnologias como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e automação avançada, está redefinindo a abordagem das empresas em relação às questões ambientais em escalas globais. Pesquisas conduzidas em diversas regiões destacam que a Indústria 4.0 não apenas aprimora a eficiência dos processos produtivos, reduzindo o consumo de recursos naturais e minimizando resíduos, mas também proporciona novas perspectivas para a gestão ambiental estratégica. As capacidades de coleta de dados em tempo real, análises avançadas e soluções de monitoramento remoto fornecidas pela Indústria 4.0 capacitam uma tomada de decisão informada e alinhada com os princípios da sustentabilidade. Esses estudos ressaltam a importância global desse fenômeno e a necessidade de adaptação das práticas de gestão ambiental para aproveitar plenamente os benefícios da Indústria 4.0 em diferentes contextos culturais e econômicos (SCHUMACHER, EROL, E SIHN, 2016 e LEE, BAGHERI, E KAO, 2015).

Em suma, a evolução da gestão ambiental na indústria, até chegar à implantação das tecnologias da Indústria 4.0, é marcada por uma mudança de uma abordagem de conformidade para uma abordagem proativa e integrada. A digitalização, automação e conectividade das tecnologias da Indústria 4.0 fornecem as ferramentas necessárias para uma gestão ambiental mais precisa, eficiente

e sustentável, resultando em benefícios tanto para as empresas como para o meio ambiente (BOCKEN et al., 2016).

Após revisar o referencial teórico, a próxima etapa deste estudo é descrição da metodologia utilizada para investigar o impacto da Indústria 4.0 na gestão ambiental. A metodologia adotada foi planejada e estruturada, levando em consideração a natureza dos dados a serem coletados, a abordagem de análise mais apropriada e as melhores práticas de pesquisa. Essa metodologia fornece base para a coleta, análise e interpretação dos dados, visando obter insights relevantes sobre as mudanças e desafios enfrentados na gestão ambiental em virtude da adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Esses resultados contribuirão para uma compreensão mais aprofundada do impacto dessa transformação digital na sustentabilidade da indústria e ajudarão a orientar futuras práticas e tomadas de decisão.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo as abordagens metodológicas de autores brasileiros renomados, a escolha e aplicação adequada de métodos e técnicas metodológicas são cruciais para o sucesso de qualquer pesquisa. No contexto brasileiro, autores como Gil (2017) e Lakatos e Marconi (2018) destacam a importância da rigidez metodológica para assegurar a validade e confiabilidade dos resultados. Estes autores ressaltam a necessidade de alinhar as técnicas de coleta e análise de dados aos objetivos específicos da pesquisa, enfatizando a contribuição singular que métodos qualitativos e quantitativos podem oferecer. A obra de Gil, em especial, fornece uma visão abrangente das diversas etapas do processo de pesquisa, desde a formulação do problema até a interpretação dos resultados, oferecendo um guia valioso para pesquisadores brasileiros em busca de rigor metodológico.

3.1 Tipo de Pesquisa

3.1.1 Quanto ao modo de abordagem: Abordagem Quali-quantitativa

Neste estudo, a abordagem quali-quantitativa foi implementada para coletar dados por meio de questionários direcionados por formulários. Esses formulários foram distribuídos a gestores e profissionais que desempenham funções relacionadas à gestão ambiental em empresas localizadas na região do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, Brasil. O objetivo principal consistiu em adquirir informações pormenorizadas acerca das percepções, vivências e obstáculos enfrentados pelos respondentes no que tange à gestão ambiental, no contexto das tecnologias da Indústria 4.0. As perguntas abordaram diversos tópicos, incluindo a implementação de tecnologias associadas à Indústria 4.0, as mudanças percebidas na gestão ambiental, bem como os benefícios e desafios enfrentados. Adicionalmente, alguns questionamentos exigiram que os respondentes realizassem uma análise documental de relatórios, políticas e outros documentos relativos à gestão ambiental nas empresas pesquisadas. A análise dos dados qualitativos foi conduzida com o propósito de identificar temas, padrões e tendências emergentes, fornecendo, assim, uma compreensão mais profunda dos aspectos subjetivos e contextuais da gestão ambiental na indústria. Essa análise complementou a

abordagem quantitativa, possibilitando a obtenção de insights significativos para a pesquisa.

O método quali-quantitativo adotado neste estudo permitiu uma exploração abrangente dos aspectos subjetivos e contextuais da gestão ambiental, ao mesmo tempo que proporcionou uma visão precisa e geral, graças aos dados quantitativos. A integração dessas duas abordagens propiciou uma análise completa e aprofundada do impacto das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas no Vale do Taquari, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada desse cenário e fornecendo informações valiosas para orientar decisões e práticas futuras.

A formulação das perguntas neste estudo baseou-se em diversas considerações. Primeiramente, a pertinência do tópico, que é a influência da Indústria 4.0 na sustentabilidade das indústrias, destaca-se em um contexto permeado por preocupações econômicas e ambientais. Essa relevância do tema serviu como um sólido alicerce para a criação das questões de pesquisa. Além disso, as perguntas foram fundamentadas nas informações previamente apresentadas no texto, onde se discutiu a importância da Indústria 4.0 para a sustentabilidade e os desafios ambientais. Os objetivos da pesquisa, que englobaram a compreensão do papel da Indústria 4.0 na promoção da sustentabilidade e a identificação das tecnologias específicas envolvidas, também contribuíram para a formulação das perguntas. Adicionalmente, uma revisão bibliográfica aprofundada acerca da Indústria 4.0, sustentabilidade na indústria e tecnologias correlatas desempenhou um papel fundamental na elaboração das questões, auxiliando na identificação de eventuais lacunas no conhecimento existente. Assim, as questões de pesquisa refletiram em uma abordagem sólida e bem fundamentada, direcionada para a abordagem dos aspectos mais cruciais relativos à Indústria 4.0 e à sustentabilidade na indústria.

3.1.2 Quanto ao objetivo geral

Pesquisa Exploratória

A abordagem exploratória neste estudo teve como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema de pesquisa, tornando-o explícito e possibilitando a construção de hipóteses. Essa abordagem envolveu levantamentos bibliográficos para compreender o estado atual do conhecimento sobre o tema, a realização de questionários com gestores das áreas ambientais que possuem experiências práticas relacionadas ao problema em estudo, e a análise de exemplos e estudos de caso para estimular a compreensão e identificar padrões ou tendências relevantes. Após encontrar as possíveis respostas para o estudo de caso, foi realizado o aprofundamento por meio da pesquisa descritiva (GIL, 2002).

A pesquisa documental caracterizou-se pela utilização de fontes primárias, orientando os respondentes a buscar e analisar documentos como relatórios, registros, documentos oficiais,

manuais, políticas e outras fontes escritas relevantes relacionadas ao tema da pesquisa, em suas respectivas unidades produtivas. Os dados foram considerados como respostas ainda não tratadas analítica ou cientificamente, coletados por meio de formulário escrito, complementando de maneira robusta a pesquisa bibliográfica.

Essa metodologia permitiu compreender fenômenos relacionados à pesquisa e coletar dados diretamente com pessoas ligadas ao local ou fenômeno em estudo. Observou-se que, à medida que a base de dados, representada pela quantidade de empresas participantes, aumentava, a pesquisa se tornava mais representativa. A experiência e conhecimento dos profissionais impactaram nas respostas, sendo considerada uma fraqueza da pesquisa a impossibilidade de garantir que todos os respondentes fossem conhecedores do assunto em questão. O questionário estruturado, aplicado de forma homogênea a todo o grupo, permitiu a exploração mais aberta e flexível das questões, possibilitando que os participantes expressassem suas visões de maneira livre e abrangente. Essa abordagem personalizada revelou-se valiosa ao estudar contextos complexos e heterogêneos, como em pesquisas envolvendo gestores de diferentes áreas e empresas de diversos portes.

Pesquisa Descritiva

A etapa descritiva objetivou descrever as características de um determinado fenômeno ou estabelecer relações entre variáveis. Envolvendo o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, neste caso questionários. Essa abordagem buscou descrever a realidade sem interferências ou julgamentos pessoais, sendo natural em suas análises. A pesquisa descritiva seguiu uma linha de ação que inclui a observação, a coleta, a análise, o registro e a interpretação de dados. Por meio desta metodologia analisou-se as características e variáveis relacionadas ao objeto de pesquisa, investindo principalmente na coleta de dados quantitativos.

3.1.3 Com base nos procedimentos técnicos

Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica consistiu na revisão da literatura, buscando teorias para nortear o estudo, processo este conhecido também por revisão bibliográfica ou levantamento bibliográfico. As fontes desta pesquisa foram periódicos, livros, internet, jornais, entre outros. Foram utilizadas como palavras-chave principais "indústria 4.0", "sustentabilidade" e "gestão ambiental" para direcionar a busca às temáticas específicas do projeto. A pesquisa bibliográfica proporcionou agregar maior conhecimento na área do estudo, bem como identificar os melhores métodos e técnicas a serem empregadas na execução do projeto.

O método técnico utilizado para coleta de dados ocorreu por meio de um formulário. Nesse caso, criou-se um questionário estruturado contendo 42 perguntas relacionadas ao objeto de estudo e às variáveis de interesse, com base no referencial teórico, que por sua vez baseou-se na pesquisa bibliográfica. As questões contempladas no formulário estão disponibilizadas no Apêndice I deste documento. Aplicou-se um formulário de modo online, encaminhado às empresas por acessibilidade, a uma amostra de 50 empresas do Vale do Taquari, com o objetivo de coletar dados quantitativos de forma padronizada, no período de maio a outubro de 2023. Entre as limitações do estudo, destaca-se a falta de critérios prévios para a seleção das empresas participantes, devido à diversidade de tamanhos e setores das empresas do Vale.

A decisão de não realizar um pré-teste na presente pesquisa é fundamentada em diversas considerações estratégicas. Primeiramente, possui-se um conhecimento robusto e prévio da população-alvo, incluindo suas características e comportamentos. Esse entendimento aprofundado adquiriu-se por meio de estudos prévios e experiência direta com a comunidade em questão, permitindo uma formulação cuidadosa do instrumento de coleta de dados. Em segundo lugar, a imposição de restrições significativas de tempo e recursos foram um fator determinante. A realização de um pré-teste demandaria um investimento substancial, tanto em termos financeiros quanto de tempo, recursos que estão limitados pelos prazos estabelecidos e pelo orçamento disponível para o projeto de pesquisa. Essa escolha estratégica visou otimizar a eficiência na condução da pesquisa, garantindo que os recursos limitados fossem direcionados prioritariamente para a coleta e análise dos dados finais. Além disso, a natureza exploratória desta pesquisa, focada em obter insights iniciais sobre o tema em questão, também contribuiu para a decisão de não realizar um pré-teste. O objetivo primordial foi realizar uma coleta inicial de dados que permitisse a compreensão preliminar do fenômeno em estudo, priorizando a obtenção de informações valiosas sobre a temática, em detrimento da validação detalhada do instrumento. Essas considerações foram fundamentais para a tomada de decisões estratégicas na condução desta pesquisa, alinhando os recursos disponíveis com os objetivos específicos e as características do contexto investigado.

Avaliação dos Resultados

Os dados coletados foram sistematicamente tabulados em planilhas, empregando uma abordagem percentual em relação ao total de respostas obtidas. Essa metodologia de planilhamento permitiu uma análise estruturada, evidenciando a distribuição proporcional das respostas em cada categoria ou variável investigada. Adicionalmente, foram conduzidas análises de correlação entre as respostas, visando identificar padrões e relações estatisticamente significativas entre distintas variáveis. A incorporação das porcentagens proporciona uma representação mais refinada e

comparativa, enquanto as análises de correlação enriquecem a compreensão, elucidando interações e influências mútuas entre variáveis específicas. Este processo de análise de dados confere robustez e confiabilidade às conclusões derivadas das respostas obtidas, validando as inferências e insights resultantes da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência, apresenta-se os resultados obtidos ao longo desta pesquisa, bem como a análise e discussão dos achados. Este momento crucial do estudo oferece a oportunidade de aprofundar nossa compreensão sobre as conclusões e observações que emergiram a partir da coleta e análise de dados. Ao examinar os resultados das questões de pesquisa, buscou-se identificar tendências, padrões e implicações significativas que possam contribuir para o conhecimento existente no campo de estudo, além de fornecer diretrizes para a prática e futuras investigações. Nossa análise visa proporcionar uma visão abrangente e crítica dos resultados, destacando suas implicações práticas e teóricas.

Cabe ressaltar que, de 50 empresas consultadas, 30 delas (60%) retornaram com o formulário respondido, o que influenciou na representatividade dos dados obtidos, mas não comprometeu a validade e relevância das conclusões deste estudo. Pois mesmo com uma amostra menor do que inicialmente planejado, as empresas que responderam ainda oferecem insights valiosos e representativos o suficiente para sustentar as conclusões do estudo. Embora a amostra possa não ter sido tão abrangente quanto o desejado, as conclusões derivadas ainda são confiáveis e aplicáveis ao contexto da pesquisa.

4.1 Quanto as empresas

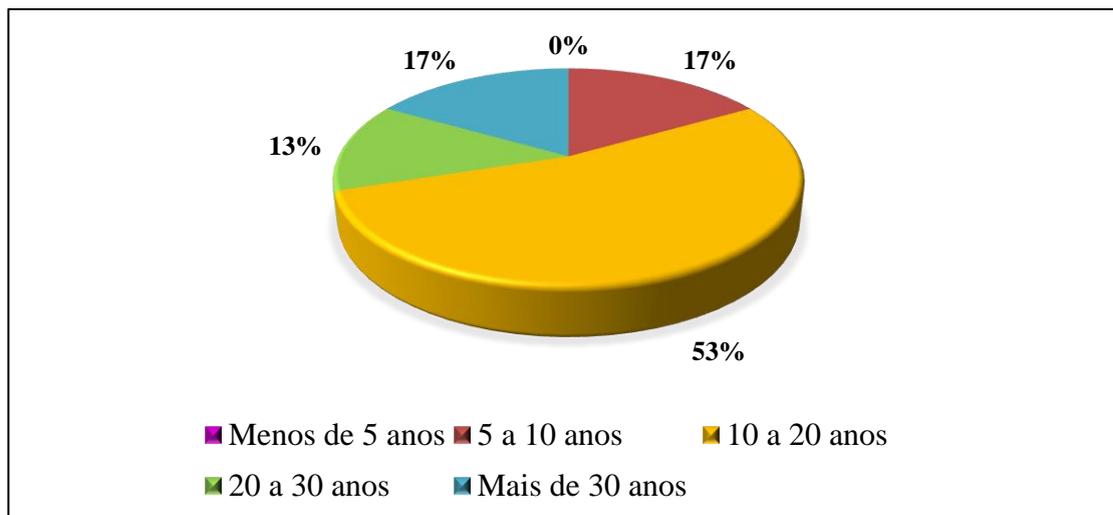
Os resultados do estudo indicaram que a maioria dos participantes está vinculada a empresas do setor de Alimentos / Bebidas, totalizando 14 respostas, o que demonstra uma marcante presença desse segmento na amostra. Essa predominância é atribuída à notável importância econômica da indústria de alimentos e bebidas, bem como à sua vasta diversidade, abrangendo desde pequenos empreendimentos locais até grandes corporações multinacionais. Além disso, observou-se que o setor Químico também possui uma representação significativa na amostra, com sete respostas, o que demonstra a presença de empresas envolvidas em processos químicos e produtos correlacionados. Outros setores, como Metalurgia e Madeireira / Moveleira, apresentaram uma presença mais modesta, com quatro e uma resposta(s), respectivamente, enquanto setores como Civil, Financeiro, Papel e Celulose, Energia, Automotivo, Saúde e Agronegócio não estiveram representados entre os

respondentes.

No que diz respeito ao porte das organizações, a maioria dos participantes (83%) informou trabalhar em empresas de Médio Porte, com faturamento anual de até R\$ 300 milhões, 17% dos respondentes mencionaram estar vinculados a empresas de Grande Porte, com faturamento superior a R\$ 300 milhões anuais. Não houveram respostas de Microempreendedores Individual, Microempresa ou Empresa de Pequeno Porte, o que reflete na ausência de representação dessas categorias específicas na amostra ou uma ênfase maior em empresas de maior porte. A predominância de empresas de Médio e Grande Porte pode influenciar na abordagem e os recursos disponíveis para a gestão da sustentabilidade das organizações analisadas. Em primeiro lugar, empresas de porte maior geralmente possuem estruturas organizacionais mais complexas e recursos financeiros substanciais em comparação com aquelas de menor porte. Isso implica em capacidade financeira e operacional para implementar práticas sustentáveis de forma mais abrangente. Além disso, as empresas de Médio e Grande Porte frequentemente enfrentam uma maior visibilidade e escrutínio público, bem como demandas crescentes por responsabilidade corporativa. Isso motiva-as a adotar abordagens mais avançadas e abrangentes em relação à sustentabilidade, não apenas para atender às expectativas da sociedade, mas também para fortalecer sua reputação e posição no mercado.

No tocante ao tempo de atividade das empresas (Gráfico 01), a maioria (53%) possui uma faixa de atuação de 10 a 20 anos, sugerindo um período substancial de estabilidade e presença no mercado. Que é interpretado como uma evidência de maturidade organizacional, o que favorece o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de longo prazo. Um número de empresas (17%) possui mais de 30 anos de atuação, o que denota uma presença duradoura e consolidada. Essas empresas provavelmente têm uma base sólida para a implementação de práticas de sustentabilidade e possuem experiência em adaptação às mudanças regulatórias e de mercado ao longo do tempo. Por outro lado, A falta de participação de empresas com menos de cinco anos de existência na pesquisa indica que as organizações mais recentes não têm uma representação significativa nos resultados deste estudo.

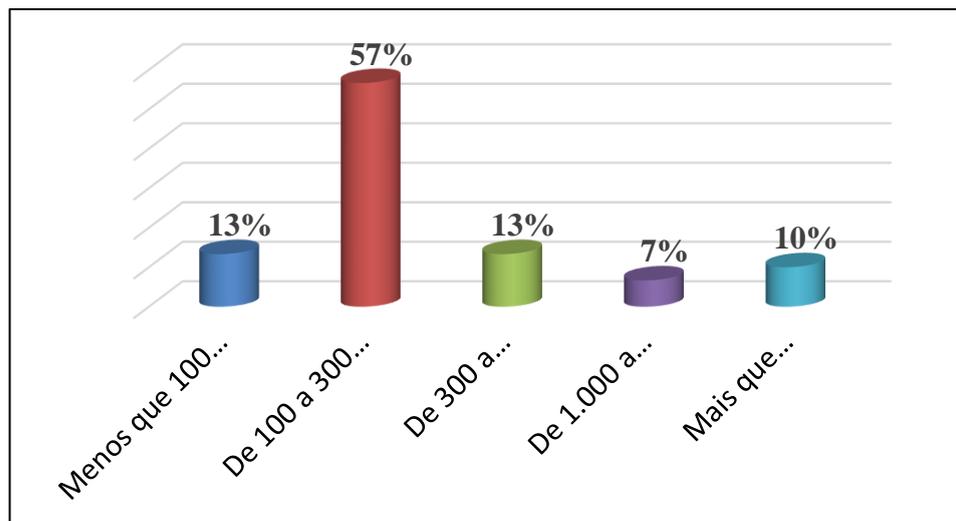
Gráfico 01. Pergunta 7 - Quantos anos de operação a empresa possui?



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

No que concerne ao tamanho das equipes de trabalho, a maioria das empresas (57%) apresenta um contingente de 100 a 300 funcionários, empresas desse porte frequentemente dispõem de recursos para dedicar à gestão da sustentabilidade e manter departamentos ou equipes especializadas para esse fim. O fato de 7% das empresas possuírem de 1.000 a 3.000 funcionários e 10% das empresas contarem com mais de 3.000 funcionários aponta a presença de organizações de grande porte na amostra. Tais empresas enfrentam desafios singulares devido à sua escala e complexidade, fatores que influenciam suas abordagens em relação à sustentabilidade. Em virtude de sua extensão operacional, essas organizações demandam de estratégias especializadas para lidar com questões ambientais, sociais e econômicas em uma amplitude de áreas geográficas e setores diversos. A alocação eficiente desses recursos requer uma cuidadosa consideração da complexidade organizacional inerente a empresas desse porte, envolvendo múltiplos departamentos, hierarquias complexas e decisões estratégicas que permeiam toda a estrutura corporativa. Contudo, observa-se também a participação de 13% das empresas com menos de 100 funcionários, o que demonstra que há representação de organizações de menor porte. Importante ressaltar que essas empresas enfrentam limitações de recursos para investir em iniciativas sustentáveis, o que afeta nas suas estratégias e práticas nessa área.

Gráfico 02. Pergunta 8 - Qual o número de funcionários atual?



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Em resumo, o perfil das empresas analisadas na pesquisa reflete uma diversidade quanto ao tempo de atividade e ao porte, aspectos cruciais para a compreensão das abordagens de sustentabilidade em diferentes contextos organizacionais, pois tempo de atividade das empresas impacta diretamente na maturidade de suas estratégias sustentáveis, enquanto o tamanho da equipe de trabalho determina a disponibilidade de recursos para investir em iniciativas sustentáveis, devendo, portanto, ser levado em consideração na interpretação dos resultados e na proposição de recomendações pertinentes.

4.2 Com relação aos respondentes

A predominância de respondentes com formação na área ambiental (53%) ressalta a importância da expertise em questões ambientais na gestão da sustentabilidade nas empresas. Isso evidencia o reconhecimento da necessidade de profissionais com conhecimento sólido em ciências ambientais para lidar com desafios relacionados ao meio ambiente, regulamentações ambientais e a implementação de práticas sustentáveis. A significativa presença de profissionais com formação em Química (27%) transmite que a gestão segura de produtos químicos e processos desempenha um papel relevante na sustentabilidade de algumas empresas. Essa expertise é crucial na minimização de impactos ambientais adversos e no cumprimento de regulamentações rigorosas.

Além disso, a concentração de respondentes com 10 a 15 anos de experiência (33%) e mais de 15 anos de experiência (23%) na área de formação demonstra a acumulação substancial de conhecimento ao longo dos anos. Esse conhecimento é valioso para liderar e orientar iniciativas sustentáveis a longo prazo. A presença de profissionais com cinco a 10 anos de experiência (27%) aponta uma combinação de conhecimento e vitalidade na área de sustentabilidade, o que resulta em uma abordagem dinâmica e atualizada para questões sustentáveis.

A predominância de Coordenadores (37%) e Analistas (33%) sugere que a gestão da sustentabilidade frequentemente é conduzida por profissionais em cargos intermediários. O que reflete a necessidade de especialistas de nível médio para implementar estratégias sustentáveis nas operações diárias das empresas. A presença de Especialistas (13%) propõe o reconhecimento das habilidades específicas necessárias para liderar iniciativas de sustentabilidade, provavelmente em áreas técnicas ou especializadas.

A maioria dos respondentes que trabalha entre cinco e 10 anos na mesma empresa (47%) sugere um compromisso de longo prazo com suas organizações, o que é fundamental para a continuidade de esforços sustentáveis. Demonstrando que as empresas valorizam a retenção de talentos no campo da sustentabilidade. A presença de profissionais que trabalham há mais de 10 anos na mesma empresa (13%) destaca a dedicação a longo prazo à gestão da sustentabilidade, possivelmente indicando um ambiente corporativo favorável ao desenvolvimento sustentável.

Esses dados realçam a importância de profissionais com formação e experiência relevantes no campo da sustentabilidade, bem como destacam a necessidade de uma abordagem colaborativa e multidisciplinar para enfrentar os desafios complexos relacionados à sustentabilidade nas empresas. A combinação de conhecimento técnico, experiência e compromisso com a sustentabilidade desempenha um papel fundamental na implementação eficaz de práticas e políticas sustentáveis. A pesquisa foi conduzida aproveitando essa expertise diversificada e contextualizada em suas áreas de especialização, níveis hierárquicos e experiências profissionais, o que contribuiu para a riqueza das informações obtidas.

4.3 No que diz respeito ao eixo social da sustentabilidade

Essa análise reflete a distribuição dos funcionários portadores de deficiência (PCD) dentro do contexto empresarial. Os resultados obtidos apontam para uma presença minoritária de funcionários PCD nas organizações avaliadas. A maior parcela dos respondentes (47%) indicou que o contingente de funcionários PCD situa-se entre 1 e 2% do quadro de colaboradores, apontando uma representatividade limitada desse grupo. Adicionalmente, uma porção significativa dos respondentes (43%) destacou que a proporção de funcionários PCD varia de 2 a 5%, o que evidencia uma presença ligeiramente maior, porém ainda restrita em termos proporcionais. No entanto, uma minoria dos respondentes (7%) apontou que mais de 5% dos funcionários são PCD. Isso propõe que uma pequena quantidade das empresas analisadas possui uma representatividade expressiva de colaboradores com deficiência. Os resultados apontam para uma inclusão ainda limitada de funcionários PCD nas organizações pesquisadas, permanecendo, em sua maioria, em faixas percentuais relativamente baixas. Isso ressalta a importância de políticas e estratégias inclusivas para ampliar a representatividade e as oportunidades para Pessoas com Deficiência no ambiente corporativo.

Além disso, a pesquisa aponta que a maioria das empresas (57%) opera com uma jornada de trabalho de 24 horas, refletindo a natureza contínua das operações industriais. A faixa salarial média no setor produtivo varia de R\$1.302,00 a R\$1.500,00 na maioria das empresas (80%), evidenciando uma homogeneidade nos salários que é influenciada pela necessidade de operações ininterruptas e jornadas de trabalho em turnos.

No que diz respeito aos aspectos oferecidos, a maioria das empresas (87%) afirma que seus funcionários recebem salários compatíveis com o piso salarial da categoria, evidenciando uma busca pela competitividade salarial. Além disso, programas de responsabilidade social são comuns, como a doação de alimentos (100%), doação de agasalhos (90%) e incentivo à doação de sangue (87%), demonstrando o compromisso das empresas com a comunidade e o bem-estar dos funcionários.

Em resumo, os resultados destacam uma série de práticas e políticas adotadas pelas empresas relacionadas à inclusão de PCDs, condições de trabalho e benefícios oferecidos aos funcionários. Essas informações servem como base para avaliar o compromisso das empresas com a sustentabilidade, responsabilidade social e igualdade de oportunidades, bem como identificar áreas passíveis de melhoria para promover ambientes de trabalho mais inclusivos e sustentáveis.

4.4 Com relação ao eixo ambiental da sustentabilidade

Todos os 100% respondentes relataram o uso de energia elétrica dentre as demais opções de matriz energética em suas empresas. Isso é positivo, pois a eletricidade geralmente é considerada uma fonte de energia mais limpa em comparação com outras opções. 40% das empresas relataram o uso de lenha/cavaco, enquanto 57% delas utilizam diesel e 15 empresas usam Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). A presença dessas fontes de energia não renováveis indica que algumas empresas ainda dependem de combustíveis fósseis, o que tem implicações ambientais, incluindo emissões de gases de efeito estufa.

Em relação ao consumo de água (Questão 18), 17% das empresas relataram consumir até 100 m³ diariamente, 40% delas consomem de 100 a 500 m³, 17% consomem de 500 a 1.000 m³, 10% das empresas consomem de 1.000 a 3.000 m³ e 3% consome mais de 3.000 m³. 13% das empresas consideram a pergunta "Não aplicável". O contraste no uso de água entre as empresas é evidenciado nas respostas, com algumas registrando consumos consideráveis que demandam gestão mais eficiente e práticas de conservação. Vale ressaltar a variação no consumo de água de acordo com o setor, especialmente com um maior uso na indústria de alimentos.

Considerando o lançamento de efluentes (Questão 19), os resultados mostram que 20% das empresas lançam até 100 m³ diariamente, 40% empresas lançam de 100 a 500 m³, 13% delas lançam de 500 a 1.000 m³, 10% lançam de 1.000 a 3.000 m³ e 3% empresa lança mais de 3.000 m³. 13% das

empresas consideram a pergunta "Não aplicável". É fundamental que esses efluentes sejam tratados adequadamente para evitar impactos negativos no meio ambiente, seguindo as legislações vigentes que regem o manejo e tratamento de resíduos.

Em relação à principal tecnologia utilizada para destinação/tratamento de resíduos sólidos, os resultados revelam que 43% das empresas utilizam o cooprocessamento, 20% das empresas realizam a reciclagem, outras 20% das empresas recorrem ao aterro, 7% praticam a compostagem, 7% empresas destinam seus resíduos à coleta urbana e 3% utiliza outra tecnologia não especificada. O cooprocessamento e a reciclagem são práticas mais sustentáveis em comparação com o aterro, que gera poluição ambiental.

Das 30 empresas respondentes, 90% das empresas afirmam possuir um setor ou departamento dedicado ao meio ambiente e sustentabilidade, o que aponta um compromisso organizacional com a gestão ambiental e a sustentabilidade. Isso é uma prática positiva que permite um foco específico nessas áreas. 10% relatam não ter um setor/departamento específico para meio ambiente/sustentabilidade. Essas empresas consideram a criação de estruturas dedicadas para fortalecer o foco nas práticas sustentáveis e na conformidade regulatória.

A maioria dos 30 respondentes indicou que a empresa conta com o suporte de consultorias na área ambiental, com 90% das respostas afirmativas. Apontando que as empresas estão reconhecendo a importância de buscar orientação especializada para lidar com questões ambientais complexas e desafiadoras.

As finalidades para as quais essas consultorias são utilizadas variam, demonstrando uma abordagem abrangente em relação às questões ambientais. Entre as finalidades mencionadas, estão condicionantes do licenciamento, propondo um comprometimento com a conformidade regulatória, fins agrônômicos, que sugere um foco na gestão sustentável da terra, acompanhamento de poços artesianos, revelando preocupação com o uso responsável dos recursos hídricos, assessoria operacional em estações de tratamento de efluentes, enfatizando a gestão adequada dos resíduos, e certificação ambiental, refletindo um desejo de demonstrar responsabilidade ambiental perante as partes interessadas.

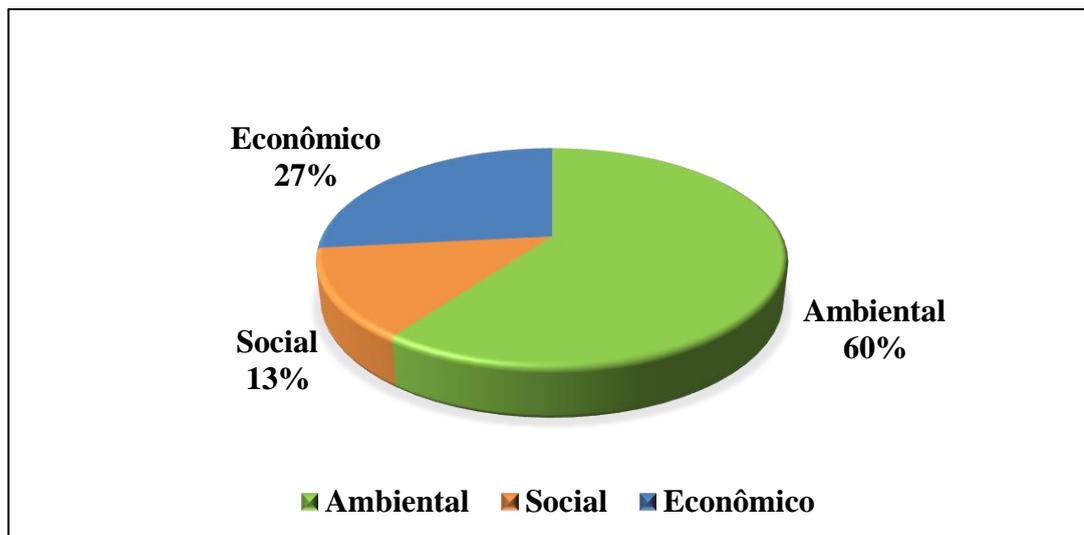
As respostas negativas, representando 10% dos respondentes, sugestionam que algumas empresas não estão atualmente buscando suporte de consultorias ambientais. Isso é devido a uma variedade de razões, como tamanho da empresa, empresas de grande escala, devido aos seus recursos substanciais, muitas vezes estabelecem internamente equipes especializadas para lidar com questões ambientais. Essas equipes internas têm a responsabilidade de desenvolver e implementar estratégias sustentáveis, monitorar conformidade com regulamentações ambientais e conduzir iniciativas específicas para reduzir o impacto ambiental da empresa. Por outro lado, empresas de menor porte,

que enfrentam limitações financeiras e de recursos humanos, frequentemente buscam o apoio de consultorias ambientais externas. Essas consultorias oferecem expertise especializada e serviços sob demanda, permitindo que empresas menores tenham acesso a conhecimentos técnicos sem a necessidade de manter uma equipe interna dedicada. Além disso, para essas empresas, o suporte de consultorias é mais eficiente em termos de custo, adquirindo serviços específicos quando necessário, evitando custos fixos associados à manutenção de uma equipe interna. falta de consciência sobre as implicações ambientais de suas operações ou simplesmente uma estratégia de negócios diferente. No entanto, dada a crescente importância das questões ambientais e da sustentabilidade, é benéfico para essas empresas considerar a possibilidade de buscar consultoria especializada no futuro para melhorar seu desempenho ambiental e atender às expectativas das partes interessadas.

As empresas pesquisadas adotam medidas para incorporar práticas de sustentabilidade e gestão ambiental em várias áreas de suas operações. No entanto, ainda há oportunidades de melhoria, especialmente na transição para fontes de energia mais limpas, na redução do consumo de água e na gestão eficaz dos efluentes. Fortalecer o foco nas práticas sustentáveis contribui para a mitigação dos impactos ambientais e a promoção de um futuro mais sustentável para essas empresas.

A sustentabilidade é concebida por meio de três eixos interconectados, formando a base para a tomada de decisões e ações que visam um equilíbrio harmônico entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos. O primeiro eixo, frequentemente denominado ambiental, aborda a necessidade de preservar os recursos naturais, minimizar a poluição e promover práticas que mantenham a saúde dos ecossistemas. O segundo eixo, de natureza social, enfoca as dimensões humanas, buscando garantir equidade, justiça social e qualidade de vida para as comunidades envolvidas. Já o terceiro eixo, de cunho econômico, visa o desenvolvimento sustentável, priorizando práticas que promovam a prosperidade econômica a longo prazo sem comprometer os recursos essenciais para as gerações futuras. Esses eixos formam um arcabouço integrado, reconhecendo a interdependência dessas dimensões e destacando a importância de abordagens holísticas para enfrentar os desafios contemporâneos em busca de um futuro sustentável. A maioria das empresas (60%) demonstra um foco maior no eixo ambiental da sustentabilidade. Isso reflete em uma ênfase nas práticas ambientalmente conscientes, como a redução do consumo de recursos naturais e a gestão de impactos ambientais. O eixo econômico também é considerado por 27% das empresas, revelando a preocupação com a viabilidade financeira das práticas sustentáveis. No entanto, o número é menor em comparação com o eixo ambiental. O eixo social é mencionado por apenas 13% das empresas, sugerindo que, para a maioria das empresas entrevistadas, as questões sociais não estão no centro de suas estratégias de sustentabilidade.

Gráfico 03. Pergunta 24 - Qual dos eixos da sustentabilidade a empresa está com maior foco?



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A questão sobre qual eixo da sustentabilidade precisa de maior enfoque nas empresas gerou respostas variadas entre os 30 respondentes. Das três opções - Econômico, Social e Ambiental, 57% dos respondentes destacaram o eixo Social como o mais crítico e justificaram essa escolha com diversas razões. A sustentabilidade social foi considerada importante porque se concentra na promoção da igualdade, justiça social e bem-estar das comunidades. Isso inclui garantir que todas as pessoas tenham acesso a oportunidades econômicas, educação, serviços de saúde e moradia adequada. Além disso, envolve o respeito aos direitos humanos, a inclusão de grupos marginalizados e a eliminação de discriminações de gênero, raça, orientação sexual e outras formas de exclusão social.

Além disso, os respondentes destacaram que o enfoque no eixo social é essencial para a construção de sociedades mais resilientes. O investimento em educação, saúde e capacitação das comunidades não apenas melhora a qualidade de vida, mas também fortalece a capacidade de enfrentar desafios, como crises econômicas, ambientais e de saúde. Também foi mencionado que abordar questões sociais contribui para a estabilidade política e a coesão social, reduzindo conflitos e tensões em níveis nacionais e globais. Enquanto isso, 37% dos respondentes destacaram o eixo Ambiental como merecedor de maior enfoque. Ressaltaram que o eixo ambiental aborda a preservação dos recursos naturais essenciais para a sobrevivência humana, como água, solo, biodiversidade e atmosfera.

Também se concentra na mitigação das mudanças climáticas, proteção da saúde humana contra poluentes e produtos químicos tóxicos, preservação da biodiversidade, uso responsável de recursos finitos e promoção da colaboração global. Em resumo, enquanto o eixo social foi amplamente apontado como crucial devido à sua ligação com a igualdade, justiça social e resiliência das comunidades, o eixo ambiental também foi considerado vital devido à sua relação com a preservação dos recursos naturais e a mitigação das mudanças climáticas. Ambos os eixos são

interligados e complementares, destacando a complexidade da sustentabilidade nas empresas. Portanto, os respondentes reconhecem a necessidade de equilibrar esses eixos para alcançar uma verdadeira sustentabilidade corporativa.

Dos 30 respondentes, 7% destacaram o eixo Econômico como necessitando de maior enfoque nas empresas. Suas justificativas são resumidas da seguinte forma: A sustentabilidade econômica foi considerada crucial porque é fundamental para garantir que as empresas possam operar de maneira viável a longo prazo. Isso inclui garantir lucratividade, manter a competitividade e assegurar a estabilidade financeira. Sem uma base econômica sólida, as preocupações ambientais e sociais se tornam secundárias, já que a sobrevivência da empresa estará em risco. Além disso, os respondentes mencionaram que empresas que demonstram sólidos princípios de sustentabilidade econômica são mais propensas a atrair investimentos e apoio financeiro, o que é essencial para o crescimento e expansão. Portanto, o eixo econômico também foi reconhecido como fundamental para a sustentabilidade das empresas, uma vez que impacta diretamente sua viabilidade a longo prazo e sua capacidade de contribuir para outros eixos, como o social e o ambiental.

A avaliação dos indicadores ambientais é uma prática comum entre as empresas pesquisadas. A maioria das empresas (60%) avalia esses indicadores mensalmente, demonstrando um compromisso com o monitoramento regular de seu desempenho ambiental. Conforme apresentado na tabela 01, os cinco principais indicadores de sustentabilidade avaliados incluem o consumo de energia elétrica, consumo de água, volume de efluentes lançados, atendimento à legislação ambiental aplicável e geração de resíduos. Esses indicadores refletem preocupações típicas relacionadas à sustentabilidade, como eficiência energética, gestão de recursos hídricos e conformidade regulatória.

Tabela 01. Pergunta nº 27 - Quais os 5 principais indicadores de sustentabilidade avaliados?

| Indicador | Percentual de empresas que avaliou o indicador |
|--|--|
| Consumo de energia elétrica | 100% |
| Consumo de água | 100% |
| Geração de resíduos | 90% |
| Volume de efluente lançado | 70% |
| Atendimento a legislação ambiental aplicável | 57% |
| Geração de Odores | 40% |
| Igualdade de gênero | 17% |
| Contaminação de solo | 13% |
| Emissões atmosféricas | 7% |
| Impacto a vizinhança | 7% |
| Ruído | 0% |
| Outros | 0% |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

A maioria das empresas (73%) estabelece metas adicionais além das estipuladas em legislação. Apresentando um compromisso em superar os requisitos mínimos e buscar um desempenho ambiental e sustentável superior. A alocação de recursos financeiros para a área ambiental varia, com a maioria (80) destinando de 5% a 10% do faturamento anual para sustentabilidade. apontando um investimento significativo em práticas sustentáveis.

33% das empresas emitem relatórios de sustentabilidade, o que é uma prática positiva para comunicar suas ações e resultados relacionados à sustentabilidade. Dos 30 respondentes, 33% deles forneceram informações sobre a metodologia utilizada na elaboração do relatório de sustentabilidade, destacando duas abordagens principais: a *Global Reporting Initiative* (GRI) e o *Sustainability Accounting Standards Board* (SASB). A metodologia da *Global Reporting Initiative* (GRI) é uma das escolhas mais comuns entre as empresas que buscam relatar suas práticas de sustentabilidade. A GRI fornece diretrizes detalhadas e amplamente reconhecidas para a elaboração de relatórios de sustentabilidade, abrangendo uma ampla gama de tópicos relacionados à sustentabilidade, como impactos ambientais, responsabilidade social, governança corporativa e desempenho econômico.

A adoção da GRI muitas vezes reflete o compromisso das empresas em seguir padrões globalmente aceitos de relatórios de sustentabilidade, tornando seus relatórios mais comparáveis e transparentes para *stakeholders*. Por outro lado, o *Sustainability Accounting Standards Board* (SASB) é uma metodologia que se concentra em padrões específicos de relatórios para setores industriais. O SASB desenvolve padrões de contabilidade de sustentabilidade voltados para empresas em setores específicos, como energia, finanças, saúde e muito mais. Esses padrões são projetados para serem relevantes e específicos para as questões e riscos enfrentados por empresas em setores particulares.

A adoção do SASB é uma abordagem direcionada para empresas que desejam se concentrar nas métricas mais relevantes para seu setor e para seus *stakeholders*. Em resumo, a escolha entre a metodologia da GRI e do SASB para elaborar relatórios de sustentabilidade reflete a abordagem das empresas em relação à amplitude e ao foco de suas divulgações. A GRI oferece uma estrutura ampla e flexível, enquanto o SASB fornece diretrizes específicas adaptadas aos setores. Ambas as metodologias visam melhorar a transparência e a prestação de contas em relação às práticas de sustentabilidade das empresas, permitindo que os *stakeholders* avaliem seu desempenho e impacto. No entanto, apenas cinco empresas divulgam esses relatórios às partes interessadas. Isso indica que há uma oportunidade para melhorar a transparência e o engajamento com *stakeholders* sobre questões de sustentabilidade.

O relatório de sustentabilidade é uma ferramenta essencial para as organizações comunicarem informações abrangentes sobre seu desempenho sustentável. Ele visa apresentar uma ampla gama de

informações relevantes para os *stakeholders* e a sociedade em geral. Conforme citadas pelos respondentes, essas informações incluem: Impacto Ambiental: O relatório destaca as práticas e políticas ambientais da organização, abordando questões como consumo de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa, gestão de resíduos, conservação da biodiversidade e iniciativas de economia de energia. Ele fornece métricas e dados que permitem avaliar o compromisso da empresa com a proteção do meio ambiente.

Práticas de Gestão Social: O relatório aborda as políticas de responsabilidade social da empresa, incluindo questões de diversidade e inclusão, igualdade de oportunidades, saúde e segurança dos funcionários, direitos humanos, relacionamento com a comunidade e engajamento dos colaboradores. Ele destaca as ações que a empresa toma para promover o bem-estar de seus funcionários e comunidades. Resultados Financeiros Relacionados à Sustentabilidade: O relatório apresenta informações financeiras relacionadas à sustentabilidade, como investimentos em iniciativas sustentáveis, retorno sobre esses investimentos, custos de conformidade com regulamentações ambientais e sociais, bem como a contribuição das práticas sustentáveis para a rentabilidade geral da empresa.

Governança Corporativa: O relatório aborda questões relacionadas à governança corporativa, incluindo estruturas de liderança, comitês de sustentabilidade, políticas de ética e conformidade, e a forma como a empresa garante a integridade e transparência em suas operações. Metas e Compromissos Sustentáveis: O relatório destaca as metas e compromissos da organização em relação à sustentabilidade. Isso inclui metas de redução de emissões, compromissos com a neutralidade de carbono, programas de reciclagem, iniciativas de responsabilidade social e outras ações sustentáveis planejadas ou já em andamento. Avaliação do Impacto nas Partes Interessadas: O relatório analisa como as ações da organização afetam suas partes interessadas, como clientes, acionistas, funcionários e comunidades locais. Ele destaca o engajamento com essas partes interessadas e como seus feedbacks são incorporados às práticas da empresa.

Identificação de Riscos e Oportunidades: O relatório identifica os riscos e oportunidades relacionados à sustentabilidade que afetam a organização. Isso inclui riscos associados a regulamentações ambientais, mudanças nas expectativas dos consumidores, escassez de recursos naturais e oportunidades de inovação sustentável que beneficiam a empresa. Impacto Social Positivo: O relatório destaca iniciativas da empresa que têm um impacto social positivo, como programas de educação, treinamento profissional, apoio a organizações sem fins lucrativos e investimentos em comunidades carentes. Essas ações demonstram o compromisso da empresa com a responsabilidade social corporativa. A divulgação de informações em todas essas áreas permite que os stakeholders avaliem a abordagem holística da empresa em relação à sustentabilidade. Além disso, ajuda a criar

confiança e credibilidade, demonstrando o compromisso da empresa com a transparência e a prestação de contas.

Os respondentes mencionaram o uso da metodologia da *Global Reporting Initiative* (GRI) e do *Sustainability Accounting Standards Board* (SASB) para elaborar seus relatórios de sustentabilidade. A GRI é uma organização internacional sem fins lucrativos que fornece diretrizes e padrões amplamente reconhecidos para a elaboração de relatórios de sustentabilidade. Essas diretrizes abrangem uma ampla gama de tópicos relacionados à sustentabilidade, incluindo questões ambientais, sociais, econômicas e de governança. A GRI visa promover a transparência e a prestação de contas em relação às práticas de sustentabilidade das empresas.

O *Sustainability Accounting Standards Board* (SASB) é outra organização sem fins lucrativos que se concentra em padrões específicos de relatórios de sustentabilidade para setores industriais. Em vez de fornecer diretrizes gerais, o SASB desenvolve padrões adaptados a setores específicos, levando em consideração as questões e os riscos exclusivos enfrentados pelas empresas em cada setor. Isso torna os padrões SASB altamente relevantes e específicos para as empresas de acordo com sua indústria. A escolha entre a GRI e o SASB depende da abordagem da empresa em relação à elaboração de relatórios de sustentabilidade. A GRI oferece uma estrutura ampla e flexível que é aplicada a qualquer setor, permitindo que as empresas relatem sobre uma ampla gama de tópicos de sustentabilidade.

Por outro lado, o SASB fornece padrões altamente focados e específicos para setores, tornando os relatórios mais direcionados às questões críticas enfrentadas por empresas em sua indústria. A adoção da GRI muitas vezes reflete o compromisso das empresas em seguir padrões globalmente aceitos de relatórios de sustentabilidade, tornando seus relatórios mais comparáveis e transparentes para stakeholders de diferentes regiões e setores. Por outro lado, o SASB é uma escolha direcionada para empresas que desejam se concentrar nas métricas mais relevantes para seu setor e para seus stakeholders. Em resumo, a escolha entre a metodologia da GRI e do SASB depende dos objetivos da empresa em relação à amplitude e ao foco de suas divulgações de sustentabilidade, bem como das expectativas de seus stakeholders e da relevância dos padrões para sua indústria específica.

Dos 30 respondentes, apenas 17% empresas relataram divulgar relatórios de sustentabilidade às partes interessadas. Isso apontou que a maioria das empresas pesquisadas ainda não adotou a prática de divulgação formal de relatórios de sustentabilidade. No entanto, as empresas que divulgaram esses relatórios demonstram um compromisso com a transparência e a prestação de contas em relação às suas práticas sustentáveis. A divulgação de relatórios de sustentabilidade é uma prática importante para comunicar informações detalhadas sobre o desempenho ambiental, social e econômico das empresas, bem como suas estratégias e metas de sustentabilidade.

Esses relatórios são frequentemente disponibilizados ao público, aos acionistas, aos investidores, aos clientes e a outras partes interessadas para fornecer uma visão abrangente das ações e dos impactos da empresa no campo da sustentabilidade. A decisão de divulgar ou não um relatório de sustentabilidade depende de vários fatores, incluindo o tamanho da empresa, suas práticas de governança corporativa, as expectativas dos *stakeholders* e o setor em que opera. Algumas empresas optam por não divulgar relatórios formais, mas ainda comunicam suas iniciativas sustentáveis por meio de outros canais, como seus sites corporativos, comunicados à imprensa e relatórios financeiros anuais.

Para as empresas que optam por divulgar relatórios de sustentabilidade, esses documentos geralmente incluem informações detalhadas sobre questões como consumo de recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa, práticas de gestão social, resultados financeiros relacionados à sustentabilidade e metas de sustentabilidade. Eles também destacam iniciativas específicas relacionadas à sustentabilidade, programas de responsabilidade social corporativa e a forma como a empresa aborda questões de governança corporativa. Em resumo, a divulgação de relatórios de sustentabilidade é uma ferramenta importante para empresas que desejam comunicar suas práticas e resultados sustentáveis às partes interessadas e demonstrar seu compromisso com a responsabilidade corporativa.

A análise dos resultados da questão sobre o nível de maturidade em sustentabilidade revela uma diversidade de percepções entre os respondentes. Vamos examinar cada estágio e seus respectivos resultados:

Estágio 1: Falta de consciência sustentável: Um pequeno grupo de respondentes (7%) indicou que suas organizações ainda não reconhecem o valor da sustentabilidade e carecem de conhecimento sobre o tema. Esse resultado sugere a existência de desafios iniciais na promoção da conscientização sobre a importância da sustentabilidade nessas organizações.

Estágio 2: Iniciação à sustentabilidade: 30% dos respondentes indicou que suas organizações estão em um estágio inicial de adoção de práticas sustentáveis. Embora não percebam totalmente a sustentabilidade como diferencial competitivo, estão conscientes dos aspectos legais e planejam suas ações de forma mais estruturada. Isso aponta para um movimento positivo em direção à conscientização e ações mais planejadas.

Estágio 3: Sustentabilidade inicial: A maioria dos respondentes (40%) indicou que suas organizações já percebem os benefícios financeiros das práticas sustentáveis. Isso revela uma conscientização crescente sobre a relação entre sustentabilidade, redução de custos e aumento da lucratividade.

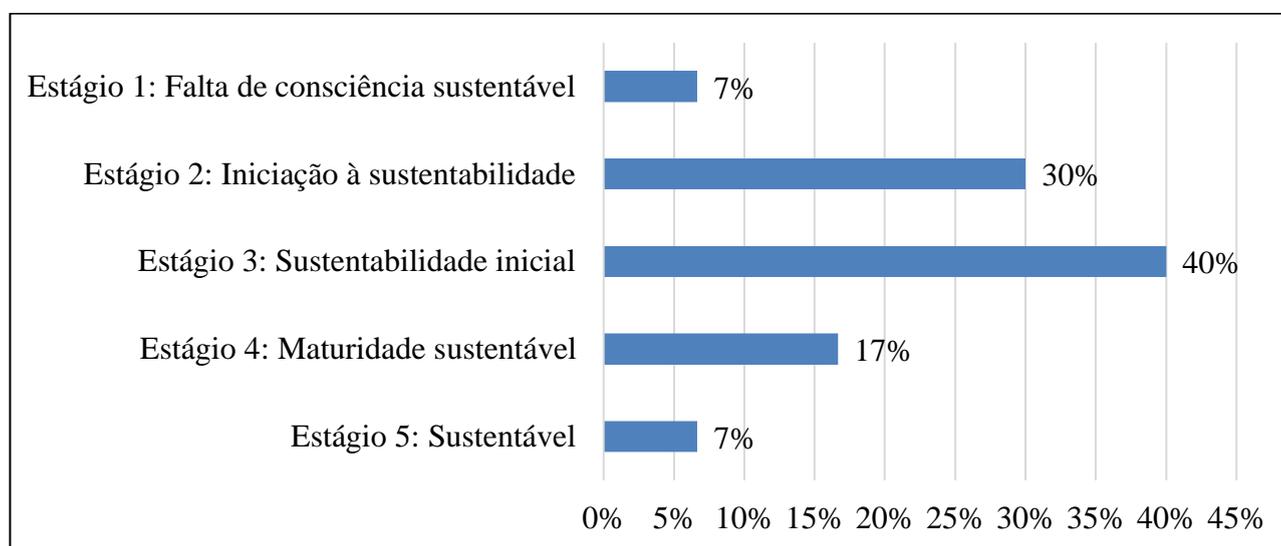
Estágio 4: Maturidade sustentável: Uma parcela menor dos respondentes (17%) indicou que

suas organizações atingiram um nível de maturidade sustentável. Isso implica que essas organizações reconhecem os benefícios substanciais das práticas sustentáveis e as incorporam em escolhas estratégicas, incluindo inovação de produtos e processos ambientalmente seguros.

Estágio 5: Sustentável: Poucos respondentes (7%) sinalizaram que suas organizações atingiram o estágio em que entendem que contribuir para um mundo insustentável não faz sentido. Essas organizações estendem suas ações sustentáveis para além de seus limites, incorporando práticas sustentáveis na cadeia de fornecedores.

A análise dos resultados (Gráfico 04) aponta uma tendência positiva em direção à conscientização e adoção de práticas sustentáveis, com uma diversidade de organizações em diferentes estágios de maturidade. A variação nos resultados destaca a complexidade e os desafios associados à integração da sustentabilidade nas práticas empresariais. Essa diversidade de estágios também indica oportunidades para compartilhamento de melhores práticas entre as organizações, promovendo um avanço coletivo em direção a práticas mais sustentáveis.

Gráfico 04. Pergunta 34 - No seu entendimento qual o nível da maturidade de sustentabilidade da empresa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

4.5 Quanto ao eixo econômico da sustentabilidade

A pesquisa revelou que a maioria das empresas investigadas está inserida no setor de Alimentos / Bebidas, evidenciando a forte representatividade dessa indústria na amostra e no Vale do Taquari. Esse cenário ressalta a importância econômica do setor de alimentos e bebidas e demonstra que as empresas que atuam nele, possuem um interesse significativo na busca pela sustentabilidade econômica em suas operações, possivelmente em resposta a desafios específicos,

como a gestão de recursos naturais e a eficiência nas cadeias de produção.

Além disso, a pesquisa aponta que a maioria das empresas é de Médio Porte, com faturamento anual de até R\$ 300 milhões. Apresentando que essas empresas possuem recursos disponíveis para investir em iniciativas de sustentabilidade econômica. No entanto, a ausência de Microempresas e Empresas de Pequeno Porte na pesquisa evidenciam desafios adicionais que essas empresas enfrentam devido à limitação de recursos, o que impacta sua capacidade de implementar práticas sustentáveis em suas operações.

No que diz respeito ao tempo de atividade das empresas, a presença de algumas organizações com mais de 30 anos de operação destaca sua considerável experiência em lidar com mudanças regulatórias e de mercado ao longo do tempo. Isso implica uma vantagem em termos de adaptabilidade e resiliência frente a desafios econômicos. Entretanto, a ausência de empresas com menos de 5 anos de operação na pesquisa deixa lacunas na compreensão dos desafios enfrentados por *startups* em relação à sustentabilidade econômica, demonstrando a necessidade de um foco especial nesse grupo.

A pesquisa também demonstra que a presença de profissionais com experiência considerável acumulada, desempenham um papel fundamental na liderança de iniciativas sustentáveis e tomada de decisões estratégicas que têm impacto direto na sustentabilidade econômica das empresas

Além disso, a inclusão de políticas afirmativas para a contratação de Pessoas com Deficiência (PCDs) e a implementação de programas de doação e benefícios para funcionários revelaram que as empresas estão adotando abordagens que consideram tanto a sustentabilidade econômica quanto a responsabilidade social em suas estratégias de negócios. Isso demonstra um compromisso com a inclusão e o bem-estar dos funcionários, o que influencia positivamente a dinâmica econômica e social da empresa.

Por fim, a diversidade no consumo de água e no lançamento de efluentes entre as empresas destaca a importância da gestão eficiente dos recursos hídricos, que afeta diretamente os custos operacionais. A escolha das tecnologias para a destinação/tratamento de resíduos sólidos também tem implicações econômicas, uma vez que impacta os custos e a eficiência das operações. A avaliação regular de indicadores de sustentabilidade, como consumo de energia e água, reforça o foco das empresas na eficiência econômica. No geral, a pesquisa destaca a complexa interação entre a sustentabilidade econômica, a gestão de recursos e o compromisso com a responsabilidade social, apontando que esses elementos são cruciais para o sucesso das empresas em um contexto sustentável.

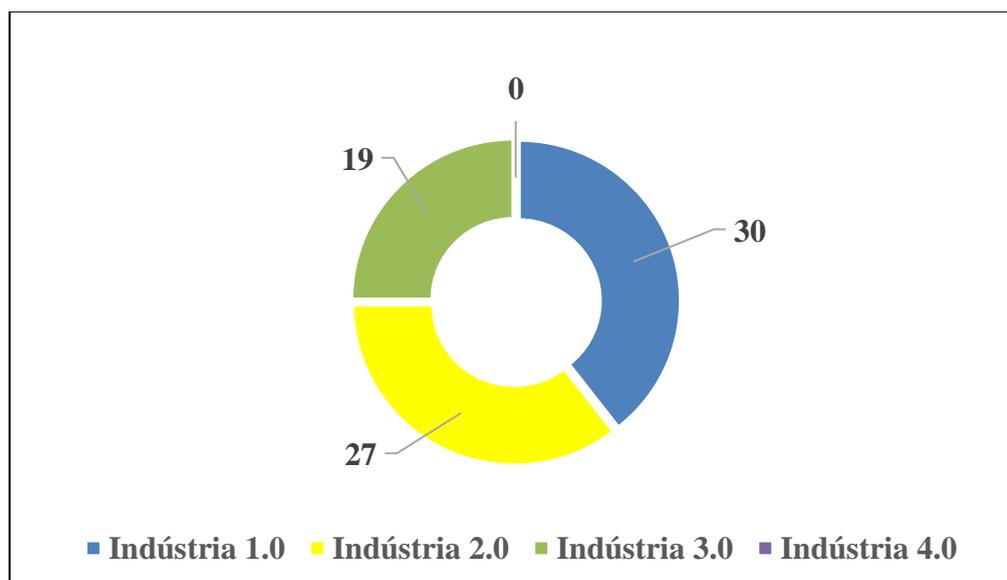
A análise mais aprofundada do eixo econômico da sustentabilidade nas empresas pesquisadas revela uma complexa interação entre diversos fatores, como setor econômico, tamanho da empresa, formação dos profissionais, compromisso de longo prazo e práticas de gestão de recursos. Esses

fatores influenciam diretamente a capacidade das empresas de integrar eficazmente a sustentabilidade econômica em suas operações e estratégias de negócios.

4.6 Com relação ao uso de tecnologias 4.0

Ao serem questionadas em relação as tecnologias atualmente utilizadas considerando somente o processo produtivo. Tendo por opções, Indústria 1.0: Existem etapas totalmente manuais sem o auxílio de equipamentos elétricos; Indústria 2.0: A produção segue em etapas pré-determinadas (linha de produção); Indústria 3.0: Possui máquinas que não dependem de influência humana para produzir, exceto configuração; Descentralização industrial, possui centros de distribuição ou produção em mais de um local; Conta com etapas de bio ou nano tecnologia; Indústria 4.0: Conta com sensores ou elementos eletrônicos que acessam ou lançam dados em nuvem; Acesso remoto de informações e alterações de configurações produtivas; Uma ou mais maquinas conectadas entre si eletronicamente via cabos ou wireless; O sistema corrige automaticamente falhas ou erros percebidos por ele mesmo; As informações produtivas geradas pelos sensores dos equipamentos ficam armazenadas em nuvem; Possui comunicação entre as áreas de apoio com a área produtiva, Ex. área de controle de produção consegue verificar remotamente o fluxo produtivo e os produtos já finalizados. Os resultados da pesquisa apresentam que a maioria das empresas participantes ainda se encontra em estágios anteriores à Indústria 4.0 em relação ao processo produtivo (Gráfico 05). Isso sugere que a automação e a integração tecnológica em suas operações ainda estão em desenvolvimento.

Gráfico 05. Pergunta 35 - Em relação as tecnologias atualmente utilizadas considerando somente o processo produtivo, indique as utilizadas na empresa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Apenas 13% empresas relatam a utilização da Internet das Coisas (IoT), sugerindo que a conexão entre dispositivos físicos e digitais para melhorar a eficiência operacional ainda não é amplamente adotada. No entanto, a presença de sistemas ciber-físicos (100% das empresas) e a automação significativa (77% das empresas) incita que muitas organizações já estão adotando elementos-chave da Indústria 4.0. Isso está associado à melhoria da eficiência e à redução de erros no processo produtivo. A integração horizontal e vertical (27% das empresas) indica que algumas empresas estão trabalhando na integração de diferentes áreas de suas operações, o que pode levar a uma melhor coordenação de recursos e processos em toda a organização. No entanto, a adoção de tecnologias como a Inteligência Artificial (IA) e o *Big Data* ainda é baixa (7% e 20% das empresas, respectivamente), o que demonstra um potencial de crescimento para a implementação dessas tecnologias para melhorar a tomada de decisões e a análise de dados. A segurança cibernética (47% empresas) está sendo considerada, mas ainda é uma área que requer atenção, uma vez que a conectividade crescente traz riscos de segurança. Os resultados discutidos anteriormente, estão dispostos em resumo na Tabela 02 a seguir.

Tabela 02. Pergunta nº 36 - Exclusivamente em relação a Indústria 4.0, quais dos itens a seguir, já estão em operação na empresa?

| Pilares da Indústria 4.0 | % das Empresas |
|---|----------------|
| Sistemas Ciber-físicos | 100 |
| Automação | 77 |
| Computação em Nuvem | 63 |
| Segurança Cibernética | 47 |
| Comunicação Máquina a Máquina (M2M) | 40 |
| Sistema de Integração Horizontal e Vertical | 27 |
| Big Data | 20 |
| Internet das Coisas (IOT) | 13 |
| Inteligência Artificial (IA) | 7 |

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023).

Quanto aos impactos da implementação da Indústria 4.0, a maioria das empresas prevê reduções significativas nas horas mensais dedicadas ao reprocesso (80% das empresas) e na quantidade de produtos descartados devido a erros humanos (70% das empresas). Isso aponta uma melhoria na qualidade e na eficiência das operações. A redução esperada de cargos ou postos de trabalho (83% das empresas) também é significativa, o que levanta questões sobre o impacto social dessa transição tecnológica e a necessidade de requalificação dos trabalhadores afetados. Finalmente, em relação às paradas não programadas para manutenção, espera-se uma redução considerável (70% das empresas), o que melhora ainda mais a eficiência operacional e a produtividade.

Os resultados propõem que as empresas estão progredindo na adoção de tecnologias da

Indústria 4.0, mas ainda há espaço para crescimento, especialmente em áreas como IA, *Big Data* e segurança cibernética. A implementação dessas tecnologias tem o potencial de melhorar a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade das operações, mas também apresenta desafios relacionados a mudanças nos processos de trabalho e na força de trabalho.

A integração da gestão ambiental com as tecnologias 4.0 representa um marco significativo na busca pela sustentabilidade nas indústrias modernas. Essa convergência representa uma resposta estratégica às crescentes demandas por eficiência, redução de impactos ambientais e competitividade. A gestão ambiental, há muito reconhecida como uma parte essencial das operações industriais responsáveis, está passando por uma transformação fundamental à medida que as tecnologias 4.0 ganham terreno. A gestão ambiental não se limita apenas às operações internas da empresa. Ela envolve a interação com partes interessadas, como reguladores, clientes e comunidades locais. As tecnologias 4.0 facilitam a comunicação transparente sobre práticas ambientalmente responsáveis, melhorando a reputação da empresa e a confiança do público.

Em resumo, a combinação da gestão ambiental com as tecnologias 4.0 está redefinindo a forma como as indústrias abordam a sustentabilidade. Essas tecnologias oferecem ferramentas poderosas para monitorar, analisar e otimizar o desempenho ambiental, ao mesmo tempo em que melhoram a eficiência operacional. À medida que se avança para um futuro cada vez mais tecnológico, a integração da gestão ambiental com as tecnologias 4.0 é essencial para garantir que as empresas prosperem de maneira responsável e sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstrou uma notável diversidade entre as empresas em termos de setor de atuação, porte, idade e perfil dos respondentes. Essa diversidade é fundamental para compreender as diferentes abordagens de sustentabilidade adotadas pelas organizações em contextos variados. A inclusão de empresas de diversos setores e tamanhos permitiu a observação de uma ampla gama de abordagens em relação à sustentabilidade e responsabilidade social. Essas empresas estão em diferentes estágios de maturidade em suas iniciativas de sustentabilidade, variando de abordagens proativas a explorações iniciais de práticas sustentáveis em suas operações.

Os profissionais envolvidos nas operações dessas empresas possuem uma variedade de formações e experiências, o que influencia na abordagem em relação a questões de sustentabilidade. A diversidade de perspectivas e conhecimentos é valiosa para impulsionar a inovação e o progresso nessa área.

A partir dos objetivos delineados, culminamos em uma análise profunda que, como conclusão, revela não apenas a pertinência, mas também a eficácia incontestável das metas estabelecidas, ressaltando a importância de um planejamento meticulosamente elaborado. Ademais, as lições extraídas durante a busca destes objetivos não apenas enriqueceram nosso repertório de sabedoria, mas também constituíram uma contribuição para o aprimoramento constante.

Investigar a incidência e adoção das tecnologias da indústria 4.0 nas empresas localizadas na região do Vale do Taquari, analisando a implementação de práticas sustentáveis e o uso dessas tecnologias para a gestão ambiental: Esta seção, presente na análise sob a rubrica 4.6, se dedica à exploração das tecnologias adotadas por empresas da região no contexto da Indústria 4.0, examinando sua relação com práticas sustentáveis e gestão ambiental. A maioria das empresas encontra-se ainda em estágios iniciais da incorporação dessas tecnologias, embora evidências apontem para a incorporação de sistemas ciber-físicos e automação em seus processos. Evidenciando que tais tecnologias serão um instrumento na otimização da eficiência operacional e na minimização de erros, o que potencialmente estimulará práticas sustentáveis. A análise, no entanto, não oferece detalhes sobre a efetiva implementação destas práticas nas empresas pesquisadas, deixando espaço para uma análise mais aprofundada nesse aspecto.

Adicionalmente, a pesquisa revela que a adoção de tecnologias mais avançadas, como

Inteligência Artificial (IA) e *Big Data*, permanece restrita, porém promissora. A incorporação destas tecnologias viabilizaria a coleta em larga escala de dados nas operações industriais, permitindo análises de padrões e tendências. Esse desenvolvimento, por sua vez, teria o potencial de otimizar processos, reduzir desperdícios e, por conseguinte, diminuir custos e minimizar impactos ambientais adversos. A pesquisa indica que as empresas antecipam significativas reduções nas horas de retrabalho mensal e na quantidade de produtos descartados devido a erros humanos após a implementação destas tecnologias, demonstrando um impacto positivo em termos de sustentabilidade.

Avaliar os benefícios e impactos resultantes da aplicação das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas do Vale do Taquari: A análise desse cenário se desdobra na seção 4.6, onde se delinea os impactos antecipados da implantação da Indústria 4.0, enfatizando a expectativa de redução nas horas de retrabalho, diminuição da quantidade de produtos descartados devido a falhas humanas e a mitigação de paralisações não programadas. Estes achados realçam o potencial das tecnologias da Indústria 4.0 para exercer influência benéfica na administração ambiental.

Os resultados da pesquisa expressaram a perspectiva das empresas quanto aos proveitos substanciais oriundos da adoção das tecnologias da Indústria 4.0, incluindo a redução esperada nas horas dedicadas mensalmente ao retrabalho, bem como na quantidade de produtos descartados devido a erros humanos e paralisações não programadas para fins de manutenção. Estes desfechos sugerem aprimoramentos tangíveis no que se refere à eficiência e qualidade das operações. É pertinente notar que não foram disponibilizados dados específicos acerca de eficiência energética, redução de emissões ou otimização de recursos naturais nas organizações pesquisadas, possivelmente requerendo uma investigação mais acurada.

No âmbito social, muitas empresas estão considerando a inclusão de Pessoas com Deficiência (PCDs) e implementando políticas para promover a diversidade e igualdade, cumprindo não apenas um papel ético, mas também atendendo a obrigações legais. A legislação em diversos países tem evoluído para estabelecer normas e diretrizes que visam garantir a participação plena e efetiva das PCDs no ambiente de trabalho, refletindo o compromisso das organizações em cumprir com responsabilidades legais e contribuir para uma sociedade mais inclusiva e justa. Além disso, várias empresas estão participando ativamente de iniciativas de responsabilidade social, contribuindo de maneira positiva para suas comunidades e a sociedade em geral. No que diz respeito ao meio ambiente, as empresas estão tomando medidas para reduzir seu impacto ambiental, incluindo a gestão de resíduos e o uso eficiente de recursos naturais. No entanto, desafios ainda persistem, especialmente na transição para fontes de energia mais limpas e na gestão da água. No aspecto econômico, empresas

de diferentes setores estão enfrentando desafios e oportunidades. A adoção de tecnologias 4.0, como Inteligência Artificial e *Big Data*, desempenhará um papel crucial na otimização de operações e no crescimento dos negócios.

Propor recomendações para promover uma maior adoção e integração das tecnologias da indústria 4.0 na gestão ambiental das empresas do Vale do Taquari, visando uma maior sustentabilidade e competitividade no setor industrial:

O texto fornece informações valiosas que orientam recomendações futuras. Por exemplo, a baixa adoção de tecnologias como Inteligência Artificial e *Big Data* revela áreas com potencial para crescimento, enquanto destaca a importância da segurança cibernética como uma preocupação crítica. Essas observações servem como base para recomendações específicas destinadas a promover a adoção da Indústria 4.0 e aprimorar a gestão ambiental nas empresas da região.

Para promover a adoção e integração mais amplas das tecnologias da Indústria 4.0 na gestão ambiental, visando aprimorar a sustentabilidade e competitividade no setor industrial, várias medidas podem ser implementadas. Em primeiro lugar, é essencial promover a conscientização e fornecer treinamento abrangente para funcionários e gestores sobre as tecnologias da Indústria 4.0 e seu potencial para práticas sustentáveis. Além disso, a disponibilização de incentivos financeiros, como subsídios e créditos específicos, aliviam os custos iniciais para as empresas que buscam adotar essas tecnologias. A criação de parcerias estratégicas e colaborações entre empresas, instituições de pesquisa e órgãos governamentais acelerará o processo de adoção e permitir a partilha de melhores práticas.

É recomendável desenvolver regulamentos e normas específicas que incentivem a integração das tecnologias da Indústria 4.0 com foco na sustentabilidade, estabelecendo padrões de eficiência ambiental que as empresas devem atender. A criação de sistemas contínuos de monitoramento e avaliação permitirá que as empresas avaliem regularmente seu desempenho ambiental e a eficácia das tecnologias adotadas. A educação contínua e o estímulo à inovação são cruciais para manter as empresas atualizadas e competitivas à medida que novas soluções tecnológicas surgem. Ainda, o compartilhamento de casos de sucesso inspirará outras empresas a seguir o exemplo das que já incorporaram eficazmente as tecnologias da Indústria 4.0 em suas práticas de gestão ambiental. Em conjunto, essas medidas criarão um ambiente propício para a evolução sustentável das empresas na era da Indústria 4.0.

Além disso, a pesquisa apresenta algumas fraquezas que impactam em sua confiabilidade e aplicabilidade. Estas incluem o tamanho reduzido da amostra, o potencial viés de seleção, a falta de representatividade devido ao foco em setores específicos ou regiões geográficas, a possível falta de autenticidade das respostas devido a questões de formulação das perguntas, limitações na análise,

desafios na interpretação de resultados complexos, falta de consideração do contexto histórico, limitações na generalização dos resultados e a presença de viés do pesquisador.

No entanto, a pesquisa oferece insights valiosos sobre a interseção entre tecnologia e sustentabilidade nas empresas, destacando a importância da colaboração interdisciplinar e apresentando implicações significativas para políticas públicas, competitividade empresarial e o desenvolvimento futuro de tecnologias sustentáveis. Inspirando pesquisadores a explorar ainda mais como as inovações tecnológicas, como as tecnologias 4.0, podem ser aplicadas para abordar desafios ambientais e sociais, promovendo um diálogo interdisciplinar frutífero.

Ainda em tempo, como produto técnico resultante das análises do estudo, materializou-se na forma de coluna de jornal, intitulada "Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para a Gestão Ambiental" (Apêndice II), aspirou-se a ser um guia informacional para gestores, empreendedores e acadêmicos que buscam compreender e enfrentar os desafios ambientais na era digital. Ao transformarmos conhecimento em ação, promovemos uma discussão contínua sobre a necessidade premente de integração de práticas sustentáveis na revolução industrial em curso, contribuindo assim para um futuro onde a inovação tecnológica e a responsabilidade ambiental caminham lado a lado.

6 REFERÊNCIAS

AGRAWAL, A.; GANS, J.; GOLDFARB, A., **Prediction machines: The simple economics of artificial intelligence**. Harvard Business Review Press, 2020.

ALMEIDA, Thiago. **Como a Educação 4.0 mudará nossas escolas?**, 2018. Disponível em: <<http://inoveduc.com.br/artigos/educacao-4-0-mudara-escolas/>>. Acesso em: maio 2021.

ASSOCIAÇÃO Brasileira De Normas Técnicas (2004), NBR ISO 14001 – Sistema de gestão ambiental: especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: ABNT.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G., **The Internet of Things: A survey**. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805, 2010.

BAG, Surajit and PRETORIUS, Jan Harm Christiaan, **Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework**, *International Journal of Organizational Analysis* © Emerald Publishing Limited 1934-8835, 17June 2020. DOI 10.1108/IJOA-04-2020-2120

BAG, Surajit; YADAV, Gunjan; DHAMIJA, Pavitra; KATARIA, Krishan Kumar; **Key resources for industry 4.0 adoption and its effect on sustainable production and circulareconomy: An empirical study**, *Journal of Cleaner Production*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125233>

BARWOOD, M. et al. **Utilisation of Reconfigurable Recycling Systems for Improved Material Recovery from E-Waste**. *Procedia CIRP*, v. 29, p. 746-751, 2015.

BELASCO, Fábio, **Objetivo Desenvolvimento Sustentável e Economia Circular, a Nova Forma de Crescimento no Novo Milênio**, Joenvile, Sustentare, 2020. Disponível em <https://sustentare.net/blog/objetivo-desenvolvimento-sustentavel-e-economia-circular-a-nova-forma-de-crescimento-sustentavel/>. Acesso em: outubro de 2021

BELTRAMI, Mirjam; ORZES, Guido; SARKIS, Joseph; SARTOR, Marco; **Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory**, Journal of Cleaner Production, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733>

BERAWI, Mohammed Ali; **the role of industry 4.0 in achieving sustainable development goals**. International Journal of Technology 10(4): 644-647 ISSN 2086-9614 © IJTech 2019. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i4.3341>

BIRCHNELL, T.; URRY, J., **Automated futures**. European Journal of Futures Research, 8(1), 10, 2020.

BOCKEN, N. M.; DE PAUW, I.; BAKKER, C.; VAN DER GRINTEN, B., **Product design and business model strategies for a circular economy**. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308-320, 2016.

BRETTEL, Malte; FRIEDERICHSEN, Niklas; KELLER, Michael; ROSENBERG, Marius. **How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective**. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, v. 8, n. 1, 2014.

CARVALHO, N. et al. **Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing**. Procedia Manufacturing, v. 21, p. 671-678, 2018.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. São Paulo: Pearson, 2007.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos: planejamento**, elaboração e apresentação. 4. ed. Lajeado: Univates, 2020. E-book. Disponível em: <http://www.univates.br/biblioteca>. Acesso em: outubro 2021.

CHEN, Danfang; SCHUDELEIT, Timo; POSSELT, Gerrit; THIEDE, Sebastian; **A state-of-the-art review and evaluation of tools for factory sustainability assessment**, 2nd CIRP Global Web Conference, 2013. doi: 10.1016/j.procir.2013.06.173.

CLARK, G., **The Industrial Revolution**. The Economic History Review, 74(1), 3-29, 2021.

DANG, Q.; DENG, Y.; ZHU, Q., **Intelligent sustainable manufacturing for Industry 4.0: A review**. Journal of Cleaner Production, 279, 123822, 2021.

DE ARAÚJO, Thaís Duek e DE QUEIROZ, Adriane Angélica Farias Santos Lopes, **Economia Circular: Breve Panorama Da Produção Científica Entre 2007 e 2017**, XIX ENGEMA, 2017.

DOPICO, M.; GOMEZ, A.; DE LA FUENTE, D.; GARCÍA, N.; ROSILLO, R.; PUCHE, J. A **vision of industry 4.0 from an artificial intelligence point of view**. In: International Conference Artificial Intelligence - ICAI'16, Las Vegas, USA, 2016. Disponível em: <http://worldcomp-proceedings.com/proc/p2016/ICA7532.pdf>. Acesso em: maio de 2021.

ELKINGTON, John; **Sustentabilidade, Canibais com garfo e faca**, São Paulo, 2012.

EROL, Selim; JÄGER, Andreas; HOLD, Philipp; OTT, Karl; SIHN, Wilfried, **Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production**, 6th CLF -6th CIRP Conference on Learning Factories 54 (2016) 13 – 18, doi: 10.1016/j.procir.2016.03.162.

EUROFOUND & CEDEFOP., **Future of work: Employment, skills and trends in the fourth industrial revolution**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021.

FAROOQ, M.; FAISAL, M.; AHMED, Z.; REHMAN, A., **Cybersecurity in Industry 4.0: A systematic review**. Computers & Electrical Engineering, 86, 106737, 2020.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan; **Sustentabilidade: desvendando a complexidade teórica e prática**, Curitiba, 2019.

FURSTENAU, Leonardo B.; SOTT, Michele Kremer; KIPPER, Liane Mahlmann; MACHADO, Ênio Leandro; LÓPEZ-ROBLES, José Ricardo; DOHAN, Michael S.; COBO, Manuel E.; ZAHID, Adnan; ABBASI, Gammer H.; IMRAN, Muhammad Ali; **Link Between Sustainability and Industry 4.0: Trends, Challenges and New Perspectives**, IEEE, 2020.

GHOBAKHLOO, M.; TANG, S. H. K., **A review on Industry 4.0: Advanced manufacturing technologies, challenges, and opportunities**. Journal of Manufacturing Technology Management, 32(3), 575-611, 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

Gil, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa. (6a ed.)**. São Paulo: Atlas. 2017.

Global Reporting Initiative. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/>. Acesso em: Janeiro de 2022.

GUNASEKARAN, A.; NGAI, E. W. T., **The path to digital-enabled supply chain performance**. Production Planning & Control, 31(13), 1073-1076, 2020.

HE:LABS. **Indústria 4.0: a nova era da tecnologia de ponta já começou**. 2018. Disponível em: <https://helabs.com/blog/industria-4-0-a-nova-era-da-tecnologia-de-ponta-ja-comecou/>. Acesso em: agosto de 2021

HUANG, Sihan et. al. **Industry 5.0 and Society 5.0 — Comparison, complementation and co-evolution**. Journal of Manufacturing Systems, v. 64, p. 424-428, 2022

Intergovernmental panel on climate change (**IPCC**)., 2021 Disponível em: <https://www.ipcc.ch/> Acesso em: julho de 2023

IVANOV, D., DOLGUI, A., e SOKOLOV, B. (2019). **The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics.** *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.

JABBOUR, C. J. C.; FIORINI, P. D. C.; WONG, C. W.; JUGEND, D.; JABBOUR, A. B. L. D. S.; SELES, B. M. R. P.; PINHEIRO, M. A. P.; DA SILVA, H. M. R. (2020). First-mover firms in the transition towards the sharing economy in metallic natural resource-intensive industries: Implications for the circular economy and emerging industry 4.0 technologies. *Resources Policy*, v. 66, p. 101596, 2020.

JOLLY, A.; RACHURI, S., **Sustainable manufacturing: A review and research agenda.** *Journal of Cleaner Production*, 290, 125872, 2021.

JOLY, Marcel; RONDÓ, Patrícia H. C. **The future of computational biomedicine: Complexsystems thinking.** *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 132, 2017.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378475415001299>>. Acesso em: novembro de 2021.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.** *Acatech*, p. 13-78, 2013

KAZANCOGLU, Yigit; SEZER, Muruvvet Deniz; OZKAN-OZEN, Yesim Deniz; MANGLA, Sachin Kumar; KUMAR, Ajay. **Industry 4.0 impacts on responsible environmental and societal management in the family business.** *Technological Forecasting & Social Change* 173(2021) 121108.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121108>.

KIRITSIS, D.; FERREIRA, P., **Toward Industry 4.0: Overcoming the challenges of the digital transformation.** *Procedia CIRP*, 94, 20-25, 2021.

KAUR, A.; KAUR, A., **A comprehensive study on M2M communication in Industry 4.0.** *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(3), 840-849, 2021.

KOWALKOWSKI, C.; GEBAUER, H.; KAMP, B.; PARRY, G., **Servitization and the future of business: Six research avenues**. *Industrial Marketing Management*, 91, 13-21, 2020.

KUMAR, Saurabh; BHATIA, Manjot Singh, **Environmental dynamism, industry 4.0 and performance: Mediating role of organizational and technological factors**, *Industrial Marketing Management* 95 (2021) 54–64, Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.indmarman>>. Acessado em: outubro 2021

LEE, I.; LEE, K., **The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises**. *Business Horizons*, 58(4), 431-440, 2015.

LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H. A., **A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems**. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23, 2015.

LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. D. F. R.; RAMOS, L. F. P., **Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal**. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609-3629, 2017.

LI, H.; ZHANG, X.; SU, Z., **Advances in sustainable supply chain management: A systematic review and future research directions**. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105381, 2021.

LIMA, Meline Melegario; et al. **A Quarta Revolução Industrial Sob o Tripé da Sustentabilidade**; Semioses: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade; Rio de Janeiro; ISSN 1981-996X, v.13,n.3, jul./set. 2019. <https://doi.org/10.15202/1981996x.2019v13n3p79-86>.

LOZANO, Caroline Pereira, **Indústria 4.0 e a Sustentabilidade**, Universidade Federal doParaná, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia da Produção, Curitiba, 2019.

LU, Y.; PAPADOPOULOS, T.; LI, W., **A review of interoperability standards and frameworks for Industry 4.0**. *Information Systems Frontiers*, 22(6), 1421-1438, 2020.

LU, Y.; XU, X.; LIU, B., **Elements and management architecture of the industrial internet of things**. Journal of Industrial Information Integration, 8, 1-8, 2017.

Marconi, M. A., & Lakatos, E. M.. **Técnicas de pesquisa. Planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. (8a ed.). São Paulo: Atlas.2018.

MARSTON, S.; LI, Z.; BANDYOPADHYAY, S.; ZHANG, J.; GHALSASI, A., **Cloud computing — The business perspective**. Decision Support Systems, 51(1), 176-189, 2011.

MELÃO, N.; FERREIRA, J. J. M.; GONÇALVES, P., **Industry 4.0 as a facilitator of servitization: The role of technology and organizational flexibility**. Journal of Business Research, 120, 574-586, 2020.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0: o Brasil preparado para os desafios do futuro**, 2018. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: julho de 2021.

MISHRA, N.; KUMAR, S.; SUSHIL., **Industry 4.0 and environmental sustainability: A review and future research agenda**. Journal of Cleaner Production, 278, 123721, 2021.

MOURTZIS, D.; VLACHOU, E., **The role of Artificial Intelligence in Industry 4.0: A review**. Journal of Manufacturing Systems, 58, 144-156, 2020.

NEUGEBAUER, Reimond; HIPPMANN, Sophie; LEIS, Miriam; LANDHERR, Martin. **Industrie 4.0 – From the Perspective of Applied Research**, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 2016. doi: 10.1016/j.procir.2016.11.002.

NEUMAYER, E., **Industrial pollution in context: the evolution of factory regulation**. World Development, 130, 104925, 2020.

Organização das Nações Unidas. "**Relatório da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano**." 1972. Estocolmo, Suécia

PANETTO, H.; ROMERO, D.; CECIL, J.; SERRANO, M.; MOLINA, A., **Sustainable**

Industry 4.0: Current Trends, Approaches, and Open Issues. Journal of Industrial Information Integration, 20, 100139, 2020.

PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E., **Why every organization needs an augmented reality strategy.** Harvard Business Review, 95(6), 46-57, 2017.

RAMESH, A.; RAVI, V.; GUNASEKARAN, A., **The future of operations and supply chain management in the era of Industry 4.0: A comprehensive review.** European Journal of Operational Research, 284(2), 568-598, 2020.

RIZOS, V.; BEHRENS, A.; VAN BERKEL, R., **The circular economy: Barriers and opportunities for SMEs.** Procedia CIRP, 40, 230-235, 2016.

RÖGLINGER, M.; PFLAUM, A.; MÖSLEIN, K.; ALT, R., **Towards understanding Industry 4.0 ecosystems: A structured literature review.** Technological Forecasting and Social Change, 169, 120823, 2021.

ROMERO, D.; STAHERE, J.; WUEST, T.; NORAN, O., **Towards an understanding of the impact of Cyber-Physical Systems on industrial services and vice versa.** Procedia CIRP, 64, 138-143, 2017.

SACOMANO J.B. Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos. Ed. Blucher. São Paulo, 2018.

SANCHES, Bianca C.; CARVALHO, Emily S.; GOMES, Fabio Fonseca Barbosa; **A Indústria 4.0 e suas Contribuições à Sustentabilidade,** Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada, V.2,N.1, 2018. DOI: 10.33947/2595-6264-v2n1-3673

SANTOS, B. P. et al. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades.** Revista Produção e Desenvolvimento, [s.l], v. 4, n. 1, p. 111-24, 2018.

SAVITZ, Andrew W.; WEBER, Karl. **A empresa sustentável: o verdadeiro sucesso é o lucro com responsabilidade social e ambiental.** Elsevier. 2007.

SCHUMACHER, A., EROL, S., e SIHN, W. **A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises.** Procedia CIRP, 52, 161-166, 2016.

SCHWAB, Klaus. **A call for responsive and responsible leadership**. 2017. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2017/01/a-call-for-responsive-and-responsible-leadership/>>. Acesso em: abril de 2022.

SERRANO, M.; KARAGIANNIDIS, G. K., **Industry 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing: A Systematic Literature Review**. Sustainability, 13(1), 387, 2021.

SILVA, Aleksander da Conceição; CORREIA, José Manuel Ferreira; NETO, Geraldo Cardosode Oliveira. **A relação da indústria 4.0 e o triple bottom line: análise bibliométrica**. XVII Simpósio de Excelência em Gestão e tecnologia. Rio de Janeiro, 2020.

SINGH, R.; BANSAL, S.; JAIN, S., **Industry 4.0 driven sustainable manufacturing: A review on practices, challenges, and opportunities**. Journal of Cleaner Production, 254, 120052, 2020.

SMITH, J. e SILVA, M. (2022). **A convergência entre gestão ambiental e as tecnologias da indústria 4.0: Potencial para práticas sustentáveis e eficiência ambiental**. Revista de Sustentabilidade Industrial, 8(2), 112-128.

SOUZA, Daniella Rita De Carvalho; **Identificação das Práticas Sustentáveis em Empresas Alimentícias**, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas/MG, 2018

SPIEGLER, V. L. M.; PRENDINGER, H., **A systematic literature review of digitalization, sustainability, and circular economy in manufacturing**. Journal of Cleaner Production, 313, 127721, 2021.

STENTOFT, J.; ANDERSEN, B.; ANDERSEN, J. B., **Digitalization of environmental management: Barriers and enablers in the transition towards Industry 4.0**. Journal of Cleaner Production, 294, 126373, 2021.

STOCK, T.; SELIGER, G.; **Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0**, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, 2016. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.129.

TIWARI, Kamlesh; KHAN, Mohammad Shadab; **Sustainability accounting and reporting in the industry 4.0**, Journal of Cleaner Production, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120783>

VACHON, S.; KLASSEN, R. D., **Environmental management and manufacturing performance: a review and research agenda**. Journal of Operations Management, 66(1-2), 35-50, 2020.

VENTURELLI, Márcio. **Indústria 4.0: Uma Visão da Automação Industrial**. 2017.

Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-daautomacao-industrial/>>. Acesso em: outubro 2021.

ZHANG, L.; XU, L. D.; LI, S., **Big data analytics in smart manufacturing: A review**.

Journal of Manufacturing Systems, 48, 144-156, 2018.

ZHANG, Y.; ZHU, X.; YIN, G., **Cybersecurity in the era of Industry 4.0: Challenges and opportunities**. Journal of Industrial Information Integration, 23, 100274, 2021.

ZHU, Hanjing et al. **Applications of Smart Technologies in Construction Project**

Management. Journal of Construction Engineering and Management, [s. l.], v. 148, n. 4, p. 04022010, 2022.

WESTKÄMPER, E., **Towards a sustainable factory and beyond**. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 7(2), 81-89, 2014.

WANG, L.; JIN, M.; GOH, T. N.; LI, X., **Industrial Internet of Things for green and**

sustainable manufacturing: A survey. Journal of Cleaner Production, 279, 123758, 2020.

World Economic Forum, **The Future of Jobs Report 2020**, 2020. Disponível em: <

<https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>>. Acesso em: março 2023.



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09

APÊNDICE I

A seguir discorrem as questões e as opções de respostas, enviadas por meio de formulário para as empresas participantes:

1- Qual o ramo da empresa?

Alimentos / Bebidas
Metalurgia
Química
Civíl
Madeireira / Moveleira
Financeiro
Papel e Celulose
Energia
Automotivo
Saúde
Agronegócio
Outros

2- Qual o porte da empresa?

Microempreendedor Individual - Faturamento até R\$ 81 mil/ano
Microempresa - Faturamento até R\$ 360 mil/ano
Empresa de Pequeno Porte - Faturamento até R\$ 4,8 milhões/ano
Empresa de Médio Porte - Faturamento até R\$ 300 milhões/ano
Empresa de Grande Porte - Faturamento acima de R\$ 300 milhões/ano

3- Qual a sua área de formação?

Ambiental
Química
Produção
Administração
Outros

4- A quantos anos você trabalha na área de formação?

1 a 2 anos
2 a 5 anos
5 a 10 anos
10 a 15 anos
Mais que 15 anos

5- Qual o seu cargo na empresa?

Assistente
Auxiliar
Analista
Especialista
Supervisor
Coordenador
Gerente

6- A quantos anos você trabalha na empresa?

- 1 a 2 anos
- 2 a 5 anos
- 5 a 10 anos
- Mais que 10 anos

7- Quantos anos de operação a empresa possui?

- Menos que 5 anos
- 5 a 10 anos
- 10 a 20 anos
- 20 a 30 anos
- Mais que 30 anos

8- Qual o número de funcionários atual?

- Menos que 100 funcionários
- De 100 a 300 funcionários
- De 300 a 1.000 funcionários
- De 1.000 a 3.000 funcionários
- Mais que 3.000 funcionários

9- Qual a % de funcionários de cada gênero (masculino, feminino e não binárias)?

Descritiva

10- Quantos % dos funcionários são PCD's?

- Menos de 1%
- 1 a 2%
- 2 a 5%
- Mais que 5%

11- Existem políticas afirmativas nas ações da empresa?

- Sim
- Não
- Parcialmente

12- Qual a jornada de trabalho do processo produtivo?

- 8 horas
- 12 horas
- 16 horas
- 24 horas
- Outros

13- Qual a média salarial do setor produtivo?

R\$1.302,00

De R\$1.302,00 a R\$1.500,00

De R\$1.500,00 a R\$3.000,00

Mais de R\$3.000,00

14- Como está o valor da base salarial dos funcionários em relação ao piso salarial da categoria?

Acima da média

Na média

Abaixo da média

15- Quais os programas oferecidos pela empresa e/ou que ela participa/apoia que envolvam os funcionários e/ou comunidade?

Incentivo a doação de sangue

Doação de agasalho

Doação de alimentos a entidades ou comunidade

Plantio de Árvores

Coleta de resíduos de destinação específica (óleo de cozinha, eletrônicos, remédios, etc...)

Outros

16- Quais os benefícios oferecidos aos funcionários?

Auxílio Educação

Vale Refeição

Transporte / Vale Transporte

Licença Paternidade

Licença maternidade estendida

Plano de Saúde

Outros

17- Quais destas matrizes energéticas são utilizadas na empresa (podendo ser selecionada mais de uma alternativa)

Elétrica

Lenha / Cavaco

Diesel

Gás Liquefeito de Petróleo GLP

Outros

18- Qual a vazão consumida de água diariamente?

Até 100 m³

De 100 m³ a 500 m³

De 500 m³ a 1.000 m³
De 1.000m³ a 3.000m³
Mais de 3.000m³
Não aplicável

19- Qual a vazão de efluente lançada diariamente?

Até 100m³
De 100m³ a 500m³
De 500m³ a 1.000m³
De 1.000m³ a 3.000m³
Mais de 3.000m³
Não aplicável

20- Qual a principal tecnologia utilizada para destinação/tratamentos dos seus resíduos sólidos?

Aterro
Cooprocessamento
Compostagem
Reciclagem
Tratamento químico
Coleta de Resíduos Urbanos
Outros

21- A empresa possui setor / departamento de meio ambiente / sustentabilidade?

Sim
Não

22- A empresa conta com o suporte de consultorias na área ambiental? para qual finalidade?

Descritiva

23- A empresa possui alguma certificação que envolva a área ambiental? Quais?

Descritiva

24- Qual dos eixos da sustentabilidade a empresa está com maior foco?

Ambiental
Social
Econômico

25- Dentre os eixos da sustentabilidade citados na questão anterior, qual

você acredita que precise de maior enfoque na empresa, justifique?

Descritiva

26- Qual a periodicidade que a gerência avalia os indicadores ambientais?

Não são avaliados

Diariamente

Semanalmente

Mensalmente

Bimestralmente

Semestralmente

Anualmente

Outros

27- Quais os 5 principais indicadores de sustentabilidade avaliados?

Consumo de energia elétrica

Consumo de água

Volume de efluente lançado

Atendimento a legislação ambiental aplicável

Emissões atmosféricas

Ruído

Contaminação de solo

Impacto a vizinhança

Igualdade de gênero

Geração de Odores

Geração de resíduos

Outros

28- Existem metas a serem atingidas além das estipuladas em legislação?

Sim

Não

29- Quantos % do faturamento anual são destinados a área ambiental?

Menos de 1%

De 1% a 5%

De 5% a 10%

De 10% a 20%

De 20% a 30%

Mais que 30%

30- A empresa emite relatório de sustentabilidade?

Sim

Não

31- Qual a metodologia utilizada na elaboração do relatório de

sustentabilidade?

Descritiva

32- O relatório de sustentabilidade é divulgado às partes interessadas?

Sim

Não

33- Qual a principal informação que a empresa visa informar/apresentar no relatório de sustentabilidade?

Descritiva

34- No seu entendimento qual o nível da maturidade de sustentabilidade da empresa, conforme detalhado abaixo:

Estágio 1: Falta de consciência sustentável – A organização não reconhece o valor da sustentabilidade e não tem conhecimento sobre o assunto e desconsidera o seu impacto no meio ambiente e sociedade.

Estágio 2: Iniciação a sustentabilidade – A organização não percebe a sustentabilidade como diferencial competitivo e não relaciona sustentabilidade com melhores práticas, ações ocorrem de forma planejada, atendendo os aspectos legais.

Estágio 3: Sustentabilidade inicial - A organização já percebe que práticas sustentáveis podem reduzir custos e aumentar a lucratividade.

Estágio 4: Maturidade sustentável – Momento ideal para a implantação da sustentabilidade – a organização sabe que práticas sustentáveis trazem muitos benefícios, fazendo parte de escolhas estratégicas como na inovação de produtos e processos ambientalmente seguros.

Estágio 5: Sustentável – A organização entende que não faz sentido contribuir para o mundo insustentável, estando as ações estendidas para a cadeia de fornecedores.

35-Em relação as tecnologias atualmente utilizadas considerando somente o processo produtivo, indique as utilizadas na empresa.

Indústria 1.0: Existem etapas totalmente manuais sem o auxílio de equipamentos elétricos;

Indústria 2.0: A produção segue em etapas pré-determinadas (linha de produção).

Indústria 3.0: Possui máquinas que não dependem de influência humana para produzir, exceto configuração; Descentralização industrial, possui centros de distribuição ou produção em mais de um local; Conta com etapas de bio ou nano tecnologia.

Indústria 4.0: Conta com sensores ou elementos eletrônicos que acessam ou lançam dados em nuvem; Acesso remoto de informações e alterações de configurações produtivas; Uma ou mais máquinas conectadas entre si eletronicamente via cabos ou wireless; O sistema corrige

automaticamente falhas ou erros percebidos por ele mesmo; As informações produtivas geradas pelos sensores dos equipamentos ficam armazenadas em nuvem; Possui comunicação entre as áreas de apoio com a área produtiva, Ex. área de controle de produção consegue verificar remotamente o fluxo produtivo e os produtos já finalizados.

36- Exclusivamente em relação a Indústria 4.0, quais dos itens a seguir, já estão em operação na empresa?

Sistemas Ciber-físicos: integração entre processos produtivos físico e virtual, exemplo: sensores, softwares, componentes eletrônicos.

Internet das Coisas (IOT): uso da internet para canais de comunicação, promovendo uma conexão entre “coisas” digitais e físicas, de acesso global a qualquer momento ou lugar.

Automação: permite a correção de desvios de operação ou de parâmetros, por meio de dispositivos ou equipamentos, não necessitando da interferência humana no processo.

Comunicação Máquina a Máquina (M2M): é conceituado pela comunicação entre duas máquinas por meio de cabos ou wireless em tempo real. Em sua maioria uma das máquinas é responsável pela coleta dos dados para posterior envio ao software, que interpreta a informação e transmite à outra máquina a informação, para que esta possa utilizar a informação de parâmetro para uma inferência no processo.

Inteligência Artificial (IA): permite que um sistema tenha capacidade de decisão semelhante a de um ser humano, através de aprendizados alcançados por avaliações realizadas pela máquina junto ao processo.

Big Data: é o modo do tratamento de dados, demasiados extensamente para serem tratados em sistemas convencionais. O gerenciamento dos dados pelo big data otimiza a eficiência de processos pela redução de consumíveis ou energia.

Computação em Nuvem: também conhecida como cloud computing, é uma forma de processar e armazenar dados e utilizar serviços de uma infraestrutura com armazenamentos online, e que podem ser acessados de qualquer lugar, estão em um servidor virtual. Ou seja, programas que não precisam ser instalados na máquina pois rodam diretamente da internet.

Sistema de Integração Horizontal e Vertical: mantem os sistemas totalmente integrados com uma troca perfeita de dados. As integrações conectam diferentes áreas de uma indústria, a saber, produção, logística, manutenção, departamento comercial, podendo expandir à interações externas como planejamentos e empenho de recursos corporativos.

Segurança Cibernética: busca proteger de quaisquer danos, aos equipamentos e dados que estão conectados à rede.

Indústria 4.0

Considerando que a empresa em que você trabalha, passasse por uma reestruturação onde seriam implantadas todas as tecnologias que compõem a I4.0 elencadas na questão anterior e com base nos seus indicadores atuais, indique:

37- Qual o % de horas mensais, em relação ao total de horas produzidas, deixaria de serem ocupadas em reprocesso?

- Menos que 10%
- 10% a 20%
- 20% a 50%
- Mais que 50%

38- Qual a quantidade (%) mensal de produto, a otimização para indústria 4.0 evitaria de ser descartado devido a erros humanos, podendo ser por restrição do controle de qualidade, formulação incorreta, etc.. Considere o % em relação ao total produzido no mês.

- Menos que 10%
- De 10% a 20%
- De 20% a 50%
- Mais que 50%

39- Quantos % a matéria prima descartada - considerando a resposta da pergunta anterior - representa em relação ao total de resíduo gerado na planta?

- Menos que 10%
- De 10% a 20%
- De 20% a 50%
- Mais que 50%

40- Qual a redução (%) de cargos / postos de trabalho considerando a automação da I4.0? inclua na avaliação os cargos administrativos

- Menos que 10%
- De 10% a 20%
- De 20% a 50%
- Mais que 50%

41- Qual a média mensal (horas) a serem reduzidas, por paradas durante a jornada de produção para manutenções? Neste caso está se avaliando paradas imprevistas que serão evitadas devido a tecnologia utilizada pela I4.0, desconsiderando paradas programadas para manutenção.

- Menos que 5 horas
- De 5 a 20 horas
- De 20 a 50 horas
- De 50 a 100 horas
- De 100 a 150 horas