

## **INFLUÊNCIA DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 SOBRE A SUSTENTABILIDADE: ENFOQUE NO TRIPPLE BOTTOM LINE**

Elaine Silva

Gabriela Scur

### **Resumo**

A sustentabilidade tem se tornado tema de interesse, principalmente de manufatura, pois atua em coparticipação com a Indústria 4.0. O avanço da inserção das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (I4.0) traz um elevado nível de conectividade que possibilita o desenvolvimento de produtos customizados, eficiência nos processos e também mudanças em diferentes níveis organizacionais que impactam na sociedade como um todo, colaborando para a sustentabilidade. Este estudo se propôs a analisar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem contribuir na melhoria dos indicadores relacionados ao tripé da Sustentabilidade (TBL) em uma multinacional europeia que atua no setor de alimentos. Os resultados apontam que, após implementação nas tecnologias como Robôs, IoT e Cloud é possível conectar fábricas, trazer eficiência e flexibilidade nos processos e melhoria nos prazos de entregas, impactando, assim, no aspecto econômico. Por outro lado, há a necessidade de investimentos para adoção das tecnologias. Quanto ao aspecto ambiental destacaram-se tecnologias como Robôs, IoT e Cloud por estarem diretamente ligadas aos projetos de digitalização, impactando na redução de resíduos e na entrega incorreta de mercadorias. Essas tecnologias impactaram também nos indicadores de transformação organizacional.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Sustentabilidade. Tripé da sustentabilidade. Internet das coisas. Fábrica inteligente. Sistemas físicos cibernéticos.

### **Abstract**

Sustainability has become a topic of interest, especially in manufacturing, as it works in co-participation with Industry 4.0. The advance in the insertion of enabling technologies for Industry 4.0 (I4.0) brings a high level of connectivity that enables the development of customized products, efficiency in processes and also changes at different organizational levels that impact society as a whole, contributing to the sustainability. This study aimed to analyze how the enabling technologies of Industry 4.0 can contribute to the improvement of indicators related to the Sustainability Tripod (TBL) in a European multinational that operates in the food sector. The results show that, after implementing technologies such as Robots, IoT and Cloud, it is possible to connect factories, bring efficiency and flexibility to processes and improve delivery times, thus impacting the economic aspect. On the other hand, there is a need for investments to adopt the technologies. As for the environmental aspect, technologies such as Robots, IoT and Cloud stood out as they are directly linked to digitization projects, impacting on waste reduction and incorrect delivery of goods. These technologies also impacted organizational transformation indicators.

**Keywords:** Industry 4.0. Sustainability. Sustainability tripod. Internet of Things. Smart factory. Cyber ??physical systems.

## **Influência das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 sobre a Sustentabilidade: Enfoque no *Tripple Bottom Line***

### **RESUMO**

A sustentabilidade tem se tornado tema de interesse, principalmente de manufatura, pois atua em coparticipação com a Indústria 4.0. O avanço da inserção das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 (I4.0) traz um elevado nível de conectividade que possibilita o desenvolvimento de produtos customizados, eficiência nos processos e também mudanças em diferentes níveis organizacionais que impactam na sociedade como um todo, colaborando para a sustentabilidade. Este estudo se propôs a analisar como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem contribuir na melhoria dos indicadores relacionados ao tripé da Sustentabilidade (TBL) em uma multinacional europeia que atua no setor de alimentos. Os resultados apontam que, após implementação nas tecnologias como Robôs, IoT e Cloud é possível conectar fábricas, trazer eficiência e flexibilidade nos processos e melhoria nos prazos de entregas, impactando, assim, no aspecto econômico. Por outro lado, há a necessidade de investimentos para adoção das tecnologias. Quanto ao aspecto ambiental destacaram-se tecnologias como Robôs, IoT e Cloud por estarem diretamente ligadas aos projetos de digitalização, impactando na redução de resíduos e na entrega incorreta de mercadorias. Essas tecnologias impactaram também nos indicadores de transformação organizacional, que estão diretamente associados à motivação dos profissionais e a necessidade de requalificação para que possam estar inseridos no contexto de transformação para uma nova realidade corporativa.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Sustentabilidade. Tripé da sustentabilidade. Internet das coisas. Fábrica inteligente. Sistemas físicos cibernéticos.

### **1 INTRODUÇÃO**

A Indústria 4.0 trata-se de uma revolução industrial baseado na integração dos processos atualmente automatizados nas indústrias, através dos sistemas ciber-físicos (CPS - *Cyber-Physical Systems*) que incorporam máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção que são capazes de trocar informação e cooperar de forma autônoma através da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*) desencadeando ações e controlando uns aos outros de forma independente (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Segundo Alcácer e Machado (2018), a I4.0 é caracterizada como sistemas ciber-físicos (CPS) relacionado a dados de máquinas, sistemas de armazenamento e instalações da produção que possam ser manipulados para interoperabilidade em processos produtivos, ou seja, onde os dados possam ser trocados de forma independente com a capacidade de gerar melhorias nos processos industriais, desde a engenharia, ao uso dos recursos, a gestão da cadeia de abastecimento e gerenciamento do ciclo de vida do produto associados à tecnologias como Big Data (BD), Internet das Coisas (IoT), Serviços (IoS), Automação Industrial, Segurança Cibernética (CS), Computação em Nuvem (CC) e Robótica Inteligente ou denominada a robótica colaborativa. Para Leyh, Martin e Schäffer (2017), a I4.0 pode ser considerada como um fluxo inteligente de um sistema de produção, através de sistemas flexíveis de manufatura e sistemas colaborativos para resolver problemas oriundos de processos de fabricação assumindo melhores condições de análise para tomada de decisões dentro de um cenário produtivo.

Esta evolução tecnológica está permitindo que as organizações ampliem as suas opções estratégicas, tais como: diferenciação baseada na qualidade, rapidez na resposta ao mercado e

flexibilidade, além de um maior controle de processos. Fitzgerald *et al.* (2014) e Ross *et al.* (2016) mencionam que as tecnologias digitais estão cada vez mais sendo vistas como ferramentas decisivas para obter vantagem competitiva no atual ambiente competitivo. Para Rauch *et al.* (2015), a adoção destas tecnologias frequentemente envolve transformações nas estruturas organizacionais, mudanças em produtos e processos e impactos sociais, demandando assim, o estabelecimento de novas práticas de gestão.

A Indústria 4.0 é a evolução dos modelos industriais anteriormente adotados, com uma nova concepção associada ao conceito da sustentabilidade em que é necessário a utilização dos recursos de forma mais eficiente e sustentável, ou seja, a criação de processos de manufatura que não prejudique o meio ambiente, que ofereçam à sociedade benefícios como um todo e que os projetos implementados sejam economicamente viáveis para as indústrias. O conceito de Indústria 4.0 está faceado na criação de um modelo industrial mais sustentável, com uso eficiente dos recursos como matéria-prima, energia e água (SANTOS *et al.*, 2018).

Neste contexto, vem à tona questões desafiadoras que tratam da proposta de avaliar métodos, processos e ações para avaliar o nível da I4.0 em que as organizações necessitam mobilizar esforços para adotar tecnologias para melhorar os indicadores da sustentabilidade em diversos modelos de negócios (RAUCH *et al.*, 2015). Para Kiel *et al.* (2017), se uma fábrica busca melhorar sua eficiência, desempenho, ergonomia e segurança é necessário a implementação de sistemas ciber-físicos para atender a esses requisitos. Por outro lado, geram-se discussões sobre novos perfis de trabalhadores e postos, pois as organizações necessitam desenvolver estratégias, ações e políticas que tenham como objetivo se adequar a este novo cenário. Desta forma, diante destas tecnologias emergentes há um novo cenário de criação de produtos, processos e procedimentos integrados, formando um ecossistema digital entre todos os *stakeholders* de uma empresa.

Assim, o surgimento da manufatura sustentável tem como objetivo causar o mínimo de impacto negativo ao meio ambiente, conservando todos os recursos naturais e energia, de forma que possa também viabilizar economicamente a segurança das comunidades e empregados.

Segundo Braccini e Margherita (2018), a sustentabilidade é um dos impulsionadores da I4.0, entretanto, pesquisas ainda são necessárias para avaliar a relação entre o TBL com a I4.0, pois é a oportunidade para as organizações criarem valor nas três dimensões da sustentabilidade: a econômica, social e ambiental. Portanto, a pergunta dessa pesquisa é como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem contribuir na melhoria dos indicadores relacionados ao *triple bottom line* (TBL)? Para responder a essa pergunta o principal objetivo deste trabalho é analisar como a adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 pode melhorar os indicadores da Sustentabilidade (TBL) no processo produtivo em quatro plantas industriais brasileiras de uma grande empresa multinacional europeia de alimentos.

## 2 INDÚSTRIA 4.0

A partir de iniciativas do governo alemão na Feira de Hannover em 2011, foi cunhado o termo *Industrie 4.0* cujo objetivo inicial foi propor a automatização dos processos fabris de forma mais eficiente para que os produtos pudessem chegar com mais rapidez ao consumidor final fortalecendo a competitividade global (RAO; PRASAD, 2018).

A Indústria 4.0 é caracterizada basicamente pela fabricação e fornecimento de serviços através de processos de automação e digitalização que promete melhorar a sustentabilidade dentro das organizações. De acordo com Perales *et al.* (2018), a I4.0 promove interoperabilidade, agilidade, flexibilidade, tomada de decisões, eficiência e reduções de custos.

Sousa *et al.* (2018) argumentam que através da fusão entre o mundo físico e virtual, formam-se sistemas ciber- físicos (CPS), em que dados são gerados em tempo real sobre os processos de produção, oferecendo melhor flexibilidade e desempenho nos sistemas fabris, incentivados pelo alto potencial de crescimento da produtividade. Segundo Schuh *et al.* (2014), o sistema pode ser classificado em dois níveis: o primeiro é destacado pelo nível sistema ciber-físico e o segundo é atribuído aos elementos de um sistema de produtividade relacionado ao sistema ciber-físico, atribuídos como: *software* e *hardware*.

Isto leva a uma categorização de quatro condições principais, que atuam de forma sincronizada para atender os requisitos da automação dos processos de manufatura, destacados como Globalização da Informatização (Tecnologia da Informação), sendo elas a globalização TI, fontes confiáveis, automação e cooperação. Estes quatro elementos servem para formar o sistema CS (Ciber-Físicos) sendo a base da tecnologia da Informação (TI) vinculando o ambiente virtual ao físico, pois tem o seu papel fundamental de importância nas organizações, envolvendo a integração entre humano-humano, máquina-humano e, máquina-máquina (KIEL *et al.*, 2017). Ao longo do tempo este sistema tem sido adotado cada vez mais nas organizações para aumento de produtividade e melhoria na qualidade de produtos, sendo ferramenta facilitadora na interação dos processos de manufatura. Em face a este cenário é possível entender que é uma ferramenta de apoio e agrega valor aos produtos, processos e serviços entregues pelas organizações a seus clientes.

Determinados modelos de produtos são programados em através do PCP, caso ocorra a troca de configuração de um dos produtos que estão na linha, e esta alteração não for realizada em tempo real para as etapas seguintes do processo de fabricação, irão ocorrer atrasos ou até mesmo a parada da linha por completo, havendo a necessidade de reorganização da produção. Se em cada produto estiver inserido um código de barras ou etiquetas do tipo RFID, a produção poderá ser alterada via MES ou no ERP (nível de planejamento dos recursos) e todas as etapas subsequentes poderão ser informadas em tempo real para mudança da produção. Além disso, todo o sistema de produção poderá ser armazenado um banco de dados: *cloud*, ou *business intelligence* (BI), para suporte e análises para tomadas de decisão de acordo com a estratégia de cada organização.

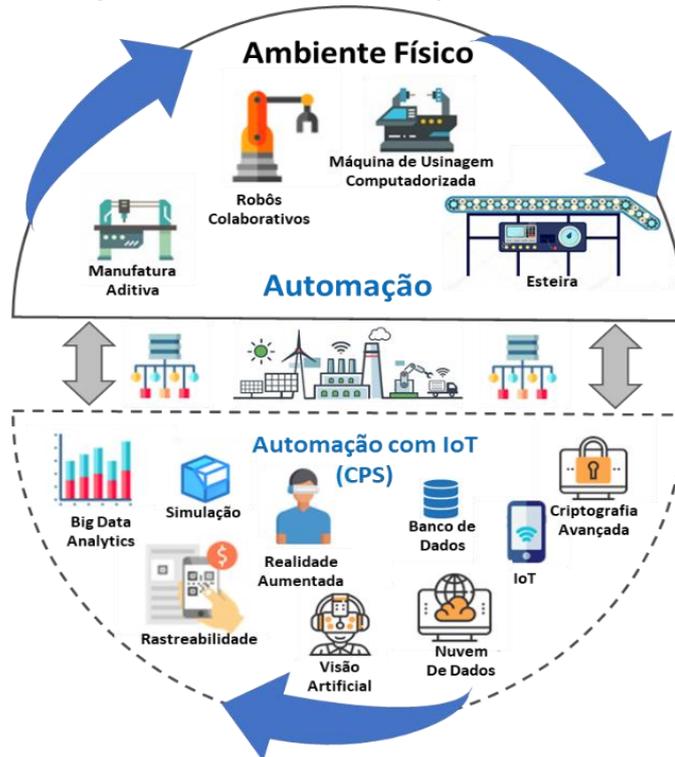
Este sistema ainda poderá também realizar a integração horizontal por redes de valor conectados a cadeia de fornecedores de forma automatizada (GILCHRIST, 2016) e assim agregar a integração vertical por sistemas de fabricação em rede através da produção, onde por exemplo, o MES possa trocar informações com máquinas, AGV's (veículos guiados automaticamente), robôs, entre outros, para garantir entregas *just in time* de forma mais assertiva ou o cliente poderá acompanhar o andamento do seu pedido customizado e solicitar alterações em tempo real à linha de produção (PETRONI *et al.*, 2018).

Através da integração dos quatro facilitadores da colaboração da produtividade, é necessário haver sinergia entre os quatro elementos, pois uma vez que a ausência de qualquer um deles impossibilita o contínuo desenvolvimento de qualquer outro campo. No entanto, a questão organizacional é a base para a colaboração dentro do contexto do crescimento da produtividade da Indústria 4.0, pois envolve a mão de obra, a interface homem-máquina e a nível máquina – máquina (SCHUH *et al.*, 2014).

Diversas tecnologias estão sendo implementadas para combinar os processos automatizados através de sistemas ciber-físicos (CPS) para adaptar as crescentes necessidades dos consumidores nos processos de produção com o aumento da eficiência e adaptabilidade dos padrões atuais do mercado. Este ambiente requer das organizações a mudança do *mindset* dos profissionais da indústria, pois estas tecnologias impactam diretamente no contexto do *triple bottom line*, melhoram as condições de trabalho onerosos e perigosos com a inserção de robôs industriais e colaborativos, o uso racional de matéria-prima e melhoria na eficiência energética gerando a necessidade das empresas implementarem projetos sustentáveis

resultando no aumento da competitividade entre empresas, para isso estas tecnologias são destacadas em nove pilares, conforme destacado na Figura 2 e que implicam diretamente no TBL.

Figura 2 – Ambiente Físico integrado com a camada de automação via IoT



Fonte: Autores, 2020.

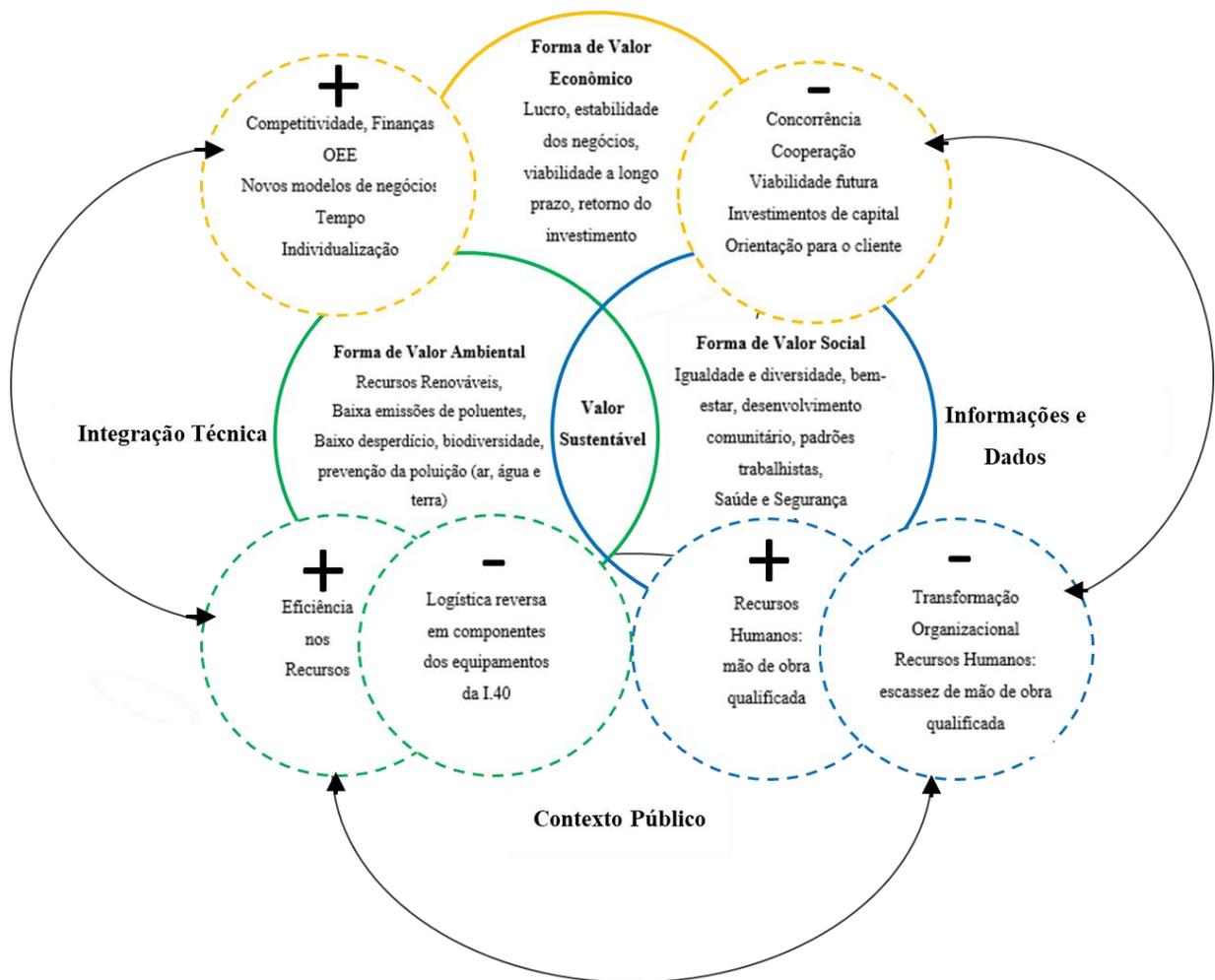
Segundo Lasi *et al.* (2014), a Indústria 4.0 visa criar oportunidades de negócios sustentáveis, encurtando o tempo de entrega para o mercado, com o aumento da produtividade e a utilização do uso dos recursos de forma eficiente. Cria externalidades positivas, pois incentiva a segurança e práticas organizacionais sustentáveis fora da organização quanto ao uso na adoção destas tecnologias (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

### 3 SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade é um conceito multidimensional que abrange três dimensões: ambiental, social e econômica, denominado *Triple Bottom Line* (TBL), conforme apresentado na Figura 1.

A dimensão ambiental do TBL concentra-se na compatibilidade entre a tendência do uso e renovação de recursos naturais. Referindo-se às organizações, esta dimensão é identificada pelos processos de consumo das fontes de recursos naturais, assim como das emissões que poderão ser absorvidas naturalmente pelo ecossistema. Esta dimensão é alcançável através da reciclagem e regeneração de recursos, releiaute de processos e produtos para minimizar o uso de recursos, a adoção de modelos de economia circular (BRACCINI; MARGHERITA, 2018). Segundo Dyllick e Hockerts (2002), a dimensão social do TBL refere-se a um comportamento das organizações em realizar a preservação e o desenvolvimento do capital humano e social das comunidades. Para os autores, a sustentabilidade social tem como objetivo integrar aspectos como satisfação no trabalho, qualidade de vida, integração social entre comunidades, solidariedade, equidade e justiça na distribuição de bens e serviços.

Figura 1 – O triple bottom line (TBL)



Fonte: Autores, 2020.

A dimensão econômica do TBL refere-se à atitude organizacional para criar valor e equilibrar custos e receitas na produção e distribuição de bens e serviços. A dimensão econômica do TBL diz respeito às dimensões do desempenho econômico e financeiro das organizações (BRACCINI; MARGHERITA, 2018).

Essas três dimensões interagem, se sobrepõem e, às vezes, entram em conflito. Por exemplo, a sustentabilidade ambiental pode ser prejudicial para a sustentabilidade econômica devido aos investimentos necessários para processos de produção mais limpos. No entanto, as organizações precisam agir de forma holística para terem sucesso nas três dimensões (BRACCINI; MARGHERITA, 2018).

Cada dimensão representa uma condição necessária, mas não suficiente para alcançar a sustentabilidade. Quando as organizações não suportam uma das dimensões, elas não são consideradas sustentáveis.

Quanto a dimensão econômica, é possível observar a melhor eficiência e flexibilidade de um determinado processo de fabricação, como por exemplo a implementação de robôs conectados com qualquer sistema de gerenciamento de produção em que as organizações podem melhorar o seu desempenho na qualidade e quanto a lucratividade do negócio na diminuição de perdas produtivas.

Na dimensão ambiental é possível obter o melhor uso dos recursos quanto a granularidade e a quantidade dos dados produzidos ao atribuir o uso das tecnologias digitais, pois obtém-se o melhor aproveitamento do uso sustentável dos recursos, ou seja, quanto maior o nível de granularidade, utilizam-se mais da camada de *software* e, conseqüentemente, o menor uso de

*hardwares* como a disponibilidade de muitos servidores para tratamento das informações permitindo o uso de forma sustentável dos recursos. De tal forma, isto requer que quanto aos componentes de *hardwares*, que eles tenham maior robustez e maior capacidade do gerenciamento dos dados.

Com a trajetória social e o avanço da automação com a associação das tecnologias emergentes da I4.0 criam-se melhores condições de trabalho dentro das organizações em contrapartida há uma necessidade de que as organizações criem uma estrutura organizacional para readequar a mão de obra existente requalificando-as ou buscando novos profissionais no mercado.

Segundo Ozanne *et al.* (2016), há uma grande dificuldade em realizar uma investigação com relação a interdependência das três dimensões, pois combina dados diferentes de forma qualitativa e quantitativa, ou seja, dados com diferentes níveis de análise de observabilidade e transparência sob a perspectiva interna e externa dentro das organizações. Para Kiel *et al.* (2017), o TBL não é claro quanto à combinação dos objetivos parcialmente conflitantes quanto ao sucesso econômico e o equilíbrio ecológico dentro das organizações, além disso, carece de estudos de forma abrangente e integrada de como a adoção das tecnologias habilitadoras da I4.0 e seus desafios, venham contribuir com os indicadores da sustentabilidade (TBL) nos processos produtivos, pois uma abordagem integrativa e holística em relação a sustentabilidade se faz necessário na gestão da tecnologia e da inovação.

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) também indicam a necessidade de grandes investimentos e rentabilidade incerta quanto a adoção das tecnologias da I4.0, justificando a necessidade de analisar o contexto da implementação quanto ao uso, avaliando como estas tecnologias possam melhorar os indicadores da sustentabilidade (TBL).

No entanto, há ainda um grande debate dentro das organizações quanto ao aumento de mão de obra ou a diminuição dos empregos, uma vez que há a necessidade de inserir profissionais qualificados nas organizações, gerando problemas sociais, uma vez que perfis de trabalho precisam acompanhar as mudanças deste cenário (KIEL *et al.*, 2017).

#### **4 METODOLOGIA**

Para realizar um processo de pesquisa é necessário utilizar-se das pesquisas existentes e transformá-las com o objetivo de avançar e agregar novos estudos sobre o que já foi produzido (MIGUEL, 2010). A pergunta de pesquisa consiste conhecer como as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem contribuir na melhoria dos indicadores relacionados ao triple bottom line (TBL). Para atender o objetivo desta pesquisa, o método utilizado foi o estudo de caso único integrado, fundamentado através de um estudo exploratório por meio de entrevistas com profissionais, com o objetivo de obter a visão da organização em diferentes BU's (Unidade de Negócios), a fim de trazer uma melhor compreensão de como os fenômenos descritos na literatura ocorrem em situação real (BURMEISTER; LÜTTGENS; PILLER, 2015). Segundo os objetivos a pesquisa é exploratória (GIL, 2002). Com relação à abordagem do problema, se enquadra como pesquisa qualitativa, pois o ambiente é a fonte de coleta dos dados e o pesquisador é o instrumento-chave, não exigindo, assim, a prática de métodos e técnicas estatísticas.

De acordo com Eisenhardt (1989), o estudo de caso é um método de pesquisa com foco no entendimento das funcionalidades em uma determinada situação. Miguel (2010) estabelece que o estudo de caso é um estudo empírico, capaz de analisar os problemas inseridos em um contexto real. A preferência pelo estudo de caso para aplicar nesta pesquisa foi por não separar o fenômeno estudado do contexto, auxiliar no entendimento dos eventos e considerar a relação entre os *stakeholders*.

De acordo com Yin (2005), os estudos de caso são utilizados para gerar da mesma forma, uma análise aprofundada de estruturas organizacionais de determinadas regiões e contextos,

buscando a melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem dentro do cenário a ser estudado, diante a tomada de decisão para a escolha da tecnologia a ser implementada, preservando suas características na totalidade. Portanto, o fenômeno a ser estudado é entender como a adoção de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 pode melhorar os indicadores da sustentabilidade (TBL), dado a análise do estudo de caso único integrado, subdividido nas áreas: alta gestão, Fábrica A, Fábrica B, Fábrica C e Fábrica D gerando construtos teóricos, expandindo uma teoria indutiva, identificados pela fundamentação que seja lógica e visível durante o período da entrevista (EISENHARDT; GRAEBNER, 2007).

Foi conduzido um teste piloto a partir de um roteiro de entrevista semiestruturado. Segundo Miguel (2018), a condução de um teste piloto é essencial para analisar principalmente se os dados obtidos estão associados aos constructos, bem como ao objetivo da pesquisa. O teste piloto foi conduzido em uma empresa multinacional do setor de alimentos e bebidas.

De acordo com Miles e Huberman (1994), a escolha da amostra tem influência direta aos resultados do estudo que se propõe analisar, portanto, é sugerido que possa ser realizado a entrevista com líderes de setores relevantes, a partir de contatos de rede profissional que possuam funções de gestão com experiência considerável às atividades de suas empresas quanto à inserção das tecnologias da I4.0. Deste modo, é possível ter a confiabilidade em relação às respostas diante da abordagem do roteiro de entrevistas (BURMEISTER; LÜTTGENS; PILLER, 2015).

Conforme descrito por Burmeister, Lüttgens e Piller (2015), a entrevista pode ser subdivida em duas partes: a compreensão dos entrevistados sobre I4.0 e a influência que ela exerce sobre a sustentabilidade a partir de um protocolo. É necessário, neste caso, considerar a organização (unidade e função), dado a análise do processo existente com a inserção da tecnologia, que tenha influência direta sobre a sustentabilidade, métodos ou ferramentas alicerçadas quanto aos indicadores do TBL, analisando a relação entre as tecnologias, impactos e resultados pretendidos para cada organização. Além disso, a fim de fazer a triangulação dos dados obtidos pelas entrevistas, foram realizadas diversas visitas às fábricas (observação direta) e consulta a documentos e relatórios internos (documentos).

Com o objetivo de analisar os impactos neste estudo de caso em aplicações distintas dentro da companhia, foi necessário a caracterização dos envolvidos de acordo com a unidade de negócio, área e função do entrevistado, descritas na Figura 2.

Figura 2 – Entrevistados

Fase	Unidade	Função	Bloco de Perguntas
1º	Alta (Corporativo) Gestão	Diretor de Engenharia	Bloco IV de forma Sucinta
		Gerência de RH	Bloco IV de forma Sucinta
		Gerência de Sustentabilidade	Bloco IV de forma Sucinta
		Gerência de Aplicação de tecnologias da I4.0	Piloto dos blocos: I, II e III
		Gerência de Digitalização	I, II, III
		Engenharia de Aplicação	I, II, III e IV
		Engenharia de Utilidades	I, II, III e IV
2º	Fábrica A	Gerência de Projetos ou Técnica	I, II, III
		Gerência: Segurança, Meio Ambiente e Saúde	I, II, III
		Gerência de Operações: Estamparia	I, II, III e IV
	Fábrica B	Gerente de Projetos	I, II, III e IV
		Gerência: Segurança, Meio Ambiente e Saúde	I, II, III e IV
		Gerência de Operações	I, II, III e IV
	Fábrica C	Gerência de Projetos ou Técnica	I, II, III e IV
		Gerência de Operações	I, II, III
	Fábrica D	Gerência de Projetos ou Técnica	I, II, III e IV
		Gerência de Operações	I, II, III e IV

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta a análise cruzada sobre o estudo de caso único, realizado em duas fases: a primeira fase de entrevistas realizada na alta gestão e a segunda fase nas fábricas A, B, C e D, através da análise de como a companhia se posiciona isoladamente e na sua totalidade quanto às influências das tecnologias habilitadoras da I4.0 sobre o TBL. Para organizar os dados obtidos e debater as principais diferenças entre os casos, as análises foram distribuídas em quatro blocos, sendo eles: i) tecnologias habilitadoras da I4.0; ii) impactos da I4.0; iii) dimensões e resultados e iv) influência dos indicadores da sustentabilidade com as tecnologias emergentes da I4.0.

## 5.1 BLOCO I: TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA I4.0

Foi possível observar que não há homogeneidade no período de tempo (em anos) da implementação de cada Tecnologia da I4.0 em cada fábrica, já que a implementação depende das prioridades que variam acordo com a demanda de cada fábrica (Figura 13).

A alta gestão, considerada as engenharias de integração nas fábricas, é responsável por analisar quais as fábricas que receberão a tecnologia. Contudo, é indiscutível entre esses gestores que os sistemas ciber físicos realizarão a integração entre robôs colaborativos e AGV's e entre outras tecnologias emergentes da I4.0, No ano de 2021, em uma das fábricas localizada no norte do Brasil está sendo ocorrendo a implementação do CPS. Esta fábrica será utilizada como piloto e como padrão para projetos que necessitam de integração entre as tecnologias da I4.0 dos equipamentos para as demais fábricas.

Nos últimos 10 anos, houve a necessidade de integração dos processos com maior frequência para soluções em final de linha com automação dos processos, no entanto, de forma pontual e sem a integração completa.

O investimento para a implementação de tecnologias da I4.0, ocorreu a partir de 2017, pois a companhia passou a ter a percepção que o futuro da manufatura está associado a estas tecnologias. A implementação passou a ocorrer nos últimos 5 anos com a inserção de robôs colaborativos em aplicações de paletização nas fábricas.

O tempo para implementação é dado a partir da análise da necessidade da fábrica com aprovação do crédito financeiro para liberação do investimento com períodos de retorno do investimento, dado a complexidade que está diretamente ligada ao custo e impacto operacional (fábricas e pessoas). Portanto, os níveis de projeto são considerados de baixa e média complexidade quando há, no máximo, 18 meses do retorno do investimento. Por exemplo, a instalação de um robô colaborativo em um final de linha terá um pequeno impacto em termos de custo, considerando uma média de redução de 2 ou 3 pessoas no ambiente de trabalho. No entanto, a redução não é tratada como uma dispensa de funcionários e sim uma nova formatação do profissional ou a realocação dele para outras atividades.

Os de alta complexidade correspondem a um período máximo de 24 meses do retorno do investimento. Possuem um fluxo de aprovação, envolvendo a matriz na Europa, seguida de documentações técnicas que comprovem a necessidade para as liberações do recurso financeiro para execução do projeto. Na fábrica B foi realizado a eliminação de 46 postos de trabalho, em virtude de um projeto de alta complexidade. Parte destes profissionais, puderam ser reaproveitados na fábrica de origem e outros puderam ser disponibilizados para outras fábricas, visto que a companhia possui uma grande flutuação na demanda em diferentes unidades de negócios, portanto, sempre é analisado previamente os impactos antes da implementação das tecnologias junto às unidades de negócios.

Nota-se uma alta variação do período entre as tecnologias implementadas em virtude da demanda de cada fábrica e a priorização de projetos que possam sustentar o retorno do investimento. Para a implantação dos robôs é considerado a média de 5 anos. As simulações da aplicação das tecnologias da I4.0 são realizadas pelos fornecedores que integram a solução

para demonstrar a funcionalidade da linha antes da implementação, buscando mitigar problemas durante o processo de instalação.

O CPS é um tema recente, mas caminha para ser estendido às demais fábricas. IoT e Cloud são consideradas tecnologias conexas para as soluções de projetos de digitalização, com menor tempo de implementação, porém crescente nas fábricas e na automação de processos administrativos.

Segurança Cibernética está associada à segurança dos dados de equipamentos, por exemplo tecnologias como AGVs necessitam de servidores locais dedicados e com regras de *firewall* para conectividade na execução da operação. Essa tecnologia é recente e requer aprendizado para fornecedores e a companhia, visto que é necessário a implementação completa de soluções atingindo a segurança operacional do tráfego de informações.

A manufatura aditiva tem sido implementada para otimizar processos de reposição de peças de reposição para manutenção de equipamentos. Big data Analytics é considerada para a companhia na mesma esfera da tecnologia IoT e Cloud, ou seja, estruturas conexas, pois enquanto a IoT é a conectividade do campo das informações, a Cloud trata do armazenamento e o Big data é o volume, variedade, velocidade e veracidade das informações no campo para gerar melhores soluções de produtividade e modelagem para as unidades de negócios. Os projetos de conectividade têm, em média, menos de 2 anos na companhia.

## 5.2BLOCO II: IMPACTOS DA I4.0

Também foi necessário obter informações quanto à percepção dos impactos da implementação das tecnologias em termos de flexibilidade, eficiência, granularidade, quantidade de dados e automação nos processos produtivos, visto que a inserção destas tecnologias exige modificações na realidade operacional do cenário das organizações.

A flexibilidade do processo passa a ser um dos principais drivers, pois o mercado tem exigido esta flexibilidade tanto em produtos (SKUs) como em volume, sendo na maioria das vezes o mesmo produto, com condições diferentes de fornecimento. A engenharia através da utilização de robôs em células automatizadas com a integração de CPS e IoT obtém maior flexibilidade, eficiência e, conseqüentemente, melhoria de processos pela automação.

Nota-se que a implementação das tecnologias tende a ser maior quando traz mais eficiência e automação dos processos de fabricação. Contudo, há oportunidades de serem analisados os impactos quanto à granularidade e quantidade de dados, pois podem auxiliar a buscar uma melhor modelagem para obtenção de uma avaliação mais precisa na mudança do processo.

## 5.3BLOCO III: DIMENSÕES DO TBL E A IMPLEMENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA I4.0

Através da implementação das tecnologias habilitadoras da I4.0 é possível uma observação do cenário quanto aos resultados que essa implementação pode trazer sobre os aspectos i) econômico, como o melhor desempenho do processo; ii) ambiental quanto ao uso sustentável dos recursos e iii) social no que se refere às melhores condições de trabalho. Através das respostas dos entrevistados foi possível observar que as tecnologias que trazem melhor desempenho no processo são: Robôs, IoT, Cloud, Big Data e realidade aumentada, em virtude da aspiração quanto à implementação de projetos que incluam conectividade entre dispositivos e equipamentos. O objetivo de conectar fábricas às pessoas é obter a transformação dos dados entre robôs e/ou máquinas de forma remota e segura. Além disso, foi exposta a necessidade da obtenção de ganhos ao analisar estes dados e transformar num benefício para a linha produtiva através da utilização da Big data associada ao Machine

Learning para garantir um melhor desempenho nos processos e, conseqüentemente, possam ajustar as operações de forma autônoma em tempo real.

Quanto ao uso sustentável dos recursos, IoT, Cloud e Big Data ficaram em evidência, pois a utilização de forma integrada com a obtenção dos dados dos equipamentos que possam ser ineficientes no processo permite a análise da performance, obtendo a redução de consumo energético e até mesmo a realização de manutenções programadas para diminuição de perdas produtivas, sintetizando os processos para melhora nos resultados, sem perdas produtivas.

Em relação as melhores condições de trabalho, tecnologias como Robôs e Realidade Aumentada são destaques. Quanto aos robôs, foi observada a percepção que não se entrega somente produtividade e flexibilidade, é possível considerar temas como segurança no trabalho e potencial redução de causas trabalhistas, em virtude das condições ergonômicas dos processos produtivos. A Realidade Aumentada está diretamente associada ao comissionamento e manutenção nas fábricas, visando fornecer informações em tempo real e maior flexibilidade. Essas informações auxiliam na execução de procedimentos com necessidades de intervenções técnicas em processo de manutenção e ou comissionamento remoto na validação de projetos.

#### 5.4BLOCO IV: TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA I4.0 E OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Foi proposto um modelo de avaliação para que pudesse ser analisada a percepção dos indicadores antes da implementação da tecnologia e pós implementação. Os entrevistados atribuíam, de acordo com sua percepção, uma nota entre 0 e 10. No aspecto econômico foi observada uma maior tendência e melhoria pós implementação nas tecnologias, como Robôs, IoT e Cloud, visto que são tecnologias mais recentes e é um desafio da companhia em conectar fábricas às pessoas para obtenção de melhores resultados. No entanto, é possível observar que, apesar da maior demanda incerta do mercado, há uma melhor eficiência e flexibilidade nos processos, dada a necessidade de customização e qualidade, o que traz melhoria nos prazos de entrega.

Quanto ao aspecto ambiental destacaram-se tecnologias como Robôs, IoT e Cloud por estarem diretamente ligadas aos projetos de digitalização. Os melhores indicadores foram a redução de resíduos e redução de na entrega incorreta de mercadorias. Outros indicadores como transparência das emissões de gases no efeito estufa por exemplo, não houve a percepção direta de quanto as tecnologias podem contribuir.

Em relação ao aspecto social os resultados apontam que, após implementação das tecnologias de Robôs, IoT e Cloud há um aumento dos indicadores de transformação organizacional, que estão diretamente associados à motivação dos profissionais para a necessidade de requalificação para uma nova realidade corporativa.

Observa-se que a companhia tem avançado com a implementação de algumas das tecnologias e é visto como uma tendência crescente que, se associada aos indicadores da sustentabilidade, traz uma renovação no modo como são executadas as operações. O avanço da I4.0 é visto como algo atrelado às práticas regenerativas, ou seja, como se utiliza da tecnologia para alavancar os benefícios econômicos, sociais e ambientais. No entanto, um dos principais pontos levantados pelos gestores foi que a visão do TBL não é integrada às tecnologias habilitadoras da I4.0, pois não se registra o que foi alcançado de sustentabilidade a partir das tecnologias da I4.0. Assim, existe a oportunidade de desenvolver um sistema de quantificação dos ganhos ambientais e sociais de forma automatizada para então ser possível estruturar uma metodologia de análise da combinação dos indicadores de sustentabilidade com as tecnologias da I4.0.

## 6 CONCLUSÃO

O objetivo desse artigo foi explorar como a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 pode contribuir na melhoria dos indicadores relacionados ao *Tripple Bottom Line* (TBL), visto que as organizações têm buscado atingir o melhor desempenho dos seus processos produtivos aliados aos aspectos econômicos, ambientais e sociais.

Os resultados da pesquisa apontam que as tecnologias com maior potencial de aplicação são os Robôs, IoT, CPS e Cloud por estarem diretamente ligados aos projetos de digitalização que estão em andamento e futuros desta organização. Tais impactos foram avaliados entrevistas os profissionais desde a alta gestão até o chão de fábrica que estão liderando ou lideraram algum projeto de implementação das tecnologias da I4.0. Outras tecnologias da I4.0 como Simulação, Segurança Cibernética, Manufatura Aditiva e Big Data Analytics não obtiveram destaque na análise e os entrevistados tiveram dificuldade em correlacioná-las ao TBL. Isto evidencia que há oportunidades a serem analisadas pela organização, dado que não se tem claro como cada tecnologia pode contribuir com os indicadores do TBL.

A principal limitação da pesquisa foi em relação ao estudo de caso único, embora tenha envolvido diversas unidades de negócios, a análise de apenas uma empresa foi devido ao contexto pandêmico que limitou o acesso dos autores em outras empresas. Assim, outra oportunidade é que essa mesma análise possa ser conduzida em organizações de diferentes setores de atuação, com o objetivo de comparar os resultados alcançados, principalmente porque ainda não está suficientemente conhecido os casos reais de combinação das tecnologias da I4.0 associada aos impactos no *Tripple Bottom Line* (TBL).

## REFERÊNCIAS

- ALCÁLCER, V.; MACHADO, V. **Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems**. Department of Mechanical Engineering, ESTSetúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal, 2018.
- BRACCINI, A. M.; MARGHERITA, E. G. **Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company**. Department of Economics, Engineering, Society and Business, Università degli Studi della Toscana. 2018.
- BURMEISTER, C.; LÜTTGENS, D.; PILLER, F. T. Business Model Innovation for Industrie 4.0: Why the Industrial Internet Mandates a New Perspective on Innovation. **Die Unternehmung**, v. 2, p. 1-31, 2015.
- DYLLICK, T.; HOCKERTS, K. Beyond the business case for corporate sustainability. **Business strategy and the environment**, v. 11, n. 2, p. 130-141, 2002.
- EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- EISENHARDT, K. M.; GRAEBNER, M. E. Theory building from cases: Opportunities and challenges. **Academy of management journal**, v. 50, n. 1, p. 25-32, 2007
- FITZGERALD, M.; KRUSCHWITZ, N.; BONNET, D.; WELCH, M. Embracing digital technology: A new strategic imperative. **MIT sloan management review**, v. 55, n. 2, p. 1-12, 2014.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GILCHRIST, A. Introducing Industry 4.0. In: **Industry 4.0**. Apress, Berkeley, CA, p. 195-215, 2016.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0 – Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt

am Main: **Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance**, Acatech, 2013.

KIEL, D.; MÜLLER, J. M.; ARNOLD, C.; VOIGT, K. I. Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. **International journal of innovation management**, v. 21, n. 8, p. 1740015, 2017.

LASI, H.; FETKKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEYH, C.; MARTIN, S.; SCHÄFFER, T. Industry 4.0 and Lean Production—A matching relationship? An analysis of selected Industry 4.0 models. In: **2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)**. IEEE, p. 989-993, 2017. <https://doi.org/10.15439/2017F365>.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo: Elsevier, 2018.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. Michael. **Qualitative data analysis: An expanded sourcebook**. Sage, 1994.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in industry**, v. 83, p. 121-139, 2016.

OZANNE, K. L.; PHIPPS, M.; WEAVER, T.; CARRINGTON, M.; LUCHS, M.; JESSE, C.; GUPTA, S.; SANTOS, N.; SCOTT, K.; WILLIAMS, J. Managing the Tensions at the Intersection of the Triple Bottom Line: A paradox theory approach to sustainability management. **Journal of Public Policy & Marketing**, v. 35, n. 2, p. 249-261, 2016.

PETRONI, B.; GLÓRIA -JUNIOR, I.; GONÇALVES, R. Sistemas Ciber Físicos. In: **Indústria 4.0**. Orgs: SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; BONILLA, S. H.; DA SILVA, M. T.; SÁTYRO, W. C. Editora Blucher, 2018.

PERALES, D. P.; VALERO, F. A.; GARCÍA, A. B. Industry 4.0: a classification scheme. **Closing the gap between practice and research in industrial engineering**. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Springer, Cham p. 343-350, 2018. [https://doi.org/10.100/978-3-319-58409-6\\_38](https://doi.org/10.100/978-3-319-58409-6_38).

PRASAD, S.; TATA, J. Publication patterns concerning the role of teams/groups in the information systems literature from 1990 to 1999. **Information & Management**, v. 42, n. 8, p. 1137-1148, 2005.

RAO, S. K.; PRASAD, R. Impact of 5G technologies on smart city implementation. **Wireless Personal Communications**, v. 100, n. 1, p. 161-176, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5618-4>.

RAUCH, E.; DALLINGER, M.; DALLASEGA, P.; MATT, D. T. Sustainability in manufacturing through distributed manufacturing systems (DMS). **Procedia CIRP**, v. 29, p. 544-549, 2015.

ROSS, J.; SEBASTIAN, I.; BEATH, C.; SCANTLEBURY, S.; MOCKER, M.; FONSTAD, N.; KAGAN, M.; MOLONEY, K.; GERAGHTY, K. Designing Digital Organizations. **MIT Center for IS Research**, v. 46, 2016.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D. F. M.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: Desafios E Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; POTENTE, W. C.; WEBER, A. R.; PROTE, J. P. Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. **Procedia Cirp**, v. 19, p. 51-56, 2014.

SOUSA, A. B. L. D.; JABBOUR, C. J. C.; FOROPON, C.; GODINHO FILHO, M. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing

wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18-25, 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.