



RELISE

## **ADOÇÃO DE ECOINOVAÇÕES DE PROCESSO A PARTIR DA I4.0 EM UMA INDÚSTRIA MULTINACIONAL AUTOMOTIVA<sup>1</sup>**

*ADOPTION OF PROCESS ECO-INNOVATION BASED ON I4.0 IN A  
MULTINATIONAL AUTOMOTIVE INDUSTRY*

*Marcelo Toporoski<sup>2</sup>*

*Luiz Pinheiro<sup>3</sup>*

*Cleonir Tumelero<sup>4</sup>*

*Lucas Melo Verli Gonçalves<sup>5</sup>*

### **RESUMO**

Sustentabilidade é um tópico que já faz parte da agenda e da estratégia das grandes empresas, dada a sua importância ao nosso planeta, sociedade e da própria sustentabilidade dos negócios. Nesse contexto as questões ambientais, um dos pilares da sustentabilidade, têm ganhado cada vez mais destaque dentro das indústrias por meio da adoção de ecoinovações. Ao mesmo tempo tudo isso acontece inserido na quarta revolução industrial, com a indústria 4.0 (i4.0) trazendo oportunidades de transformações nos processos produtivos através da digitalização. Nesse contexto, esse artigo busca, por meio de uma pesquisa qualitativa com casos práticos, responder como a i4.0 contribui para a adoção de ecoinovações em processos produtivos em uma indústria automotiva multinacional.

**Palavras-chave:** ecoinovação de processos, indústria 4.0, multinacional, sustentabilidade.

### **ABSTRACT**

Sustainability is a topic that is already part of the agenda and strategy of large companies, given its importance to our planet, society and the very sustainability of business. In this context, environmental issues, one of the pillars of

---

<sup>1</sup> Recebido em 21/08/2023. Arprovado em 05/10/2023. DOI: [doi.org/10.5281/zenodo.12737273](https://doi.org/10.5281/zenodo.12737273)

<sup>2</sup> Universidade Positivo/Grupo Volvo. [marcelo.toporoski@volvo.com](mailto:marcelo.toporoski@volvo.com)

<sup>3</sup> Universidade Positivo. [luizpinheirojunior@gmail.com](mailto:luizpinheirojunior@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Positivo. [cleonir.tumelero@gmail.com](mailto:cleonir.tumelero@gmail.com)

<sup>5</sup> Volvo group. [lucasverli@volvo.com](mailto:lucasverli@volvo.com)



RELISE

17

sustainability, have gained increasing prominence within industries through the adoption of eco-innovations. At the same time, all of this happens within the fourth industrial revolution, with industry 4.0 (i4.0) bringing opportunities for transformation in production processes through digitalization. In this context, this article seeks, through qualitative research with practical cases, to help answer how i4.0 contributes to the performance of eco-innovations in production processes in a multinational automotive industry.

**Keywords:** process-innovation, industry 4.0, multinational, sustainability.

## INTRODUÇÃO

As revoluções industriais têm contribuído para melhores condições de vida da humanidade, por meio das inovações e transformações tecnológicas e comerciais globalmente adotadas. Os diversos meios de transporte, infraestrutura, medicina, vestuário, alimentação em escala industrial, assim como meios de comunicação e a tecnologia têm proporcionado aumento na expectativa de vida da humanidade, conforto e segurança (SCHWAB, 2018). No entanto, tal desenvolvimento tecnológico tem gerado impactos negativos em termos ambientais, representando um alto custo ao planeta devido à extração e transformação dos recursos naturais para atender às demandas da crescente população (BONILLA, SILVA, SILVA, GONÇALVES & SACOMANO, 2018). Contudo, uma evolução da consciência ambiental com foco na sustentabilidade é observada globalmente e, o que antes era visto como uma preocupação ou penalidade, passa a ser incorporado como oportunidade nos negócios das empresas (MUBARAK, TIWARI, PETRAITE, MUBARIK & RASI, 2021).

Neste cenário, destacam-se as ecoinovações, que são inovações voltadas aos processos produtivos, produtos, serviços ou métodos de gestão novos para a organização e que minimizem impactos ambientais (BARBIERI, VASCONCELOS, ANDREASSI, & VASCONCELOS, 2010). Especificamente no caso das multinacionais, essas têm papel importante na transferência de tecnologias avançadas e ecoinovações de processo a partir de



RELISE

desenvolvimentos com o mesmo nível do país de origem, que na maioria dos casos possuem legislações ambientais mais rigorosas (CARRILO-HERMOSILLA, RÍO GONZÁLEZ E KÖNNÖLA, 2009).

Ao mesmo tempo, a i4.0 que promove significativas alterações nos ambientes industriais, disponibiliza consideráveis possibilidades para a obtenção de processos produtivos alinhados à sustentabilidade (BONILLA et al., 2018; LIMA, SELEME, CLETO, 2022). No entanto, o desenvolvimento da i4.0 deu-se com foco em ganhos de produtividade, aumento de margem de lucro e competitividade, e não com o foco em questões ambientais. Desta forma, há a necessidade de introdução de plataformas de inovações bem estabelecidas dentro das empresas, de forma que essas se beneficiem ambientalmente por meio da i4.0 (BONILLA et al., 2018; TELUKDARIE, BUHULAIGA, BAG, GUPTA & LUO, 2018).

Nesse contexto, por mais que a sustentabilidade não tenha sido a principal motivadora da i4.0, a convergência e a interação das tecnologias podem favorecer as questões ambientais de maneira proativa. Isso possibilita a realização de manufatura limpa, através da redução do desperdício de recursos, controle e diminuição de emissões geradas e integração dos processos em toda a cadeia de valor, considerando inclusive o ciclo de vida dos produtos (MUBARAK et al., 2021; BONILLA et al., 2018). E neste ponto que se pressupõe que questões ambientais de processo podem ser favorecidas com a adoção deecoinovações de processo a partir de tecnologias da i4.0.

Nesse cenário, o presente artigo busca mostrar por meio de resultados levantados de casos práticos, através de um estudo de caso, em uma multinacional do ramo automobilístico instalada no Brasil, **como a i4.0 contribui na adoção de ecoinovações de processos produtivos em uma indústria automotiva multinacional.**



RELISE

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### *EcoInovação*

Em relação à ecoinovação, autores e instituições científicas e econômicas definem conceitos similares e, às vezes, até mesmo confusos, com sinônimos e interpretações. No entanto, é possível partir para uma definição de ecoinovação que faz o devido balanceamento entre as dimensões social, econômica e ambiental. Nesse princípio, Kemp e Pearson (2007) definem ecoinovação como a produção, assimilação ou exploração de um produto, processo, serviço ou gestão para a organização que traz, ao longo do seu ciclo de vida, redução do risco ambiental, poluição e demais impactos provenientes da utilização dos recursos, em comparação com outras alternativas.

De maneira similar, o Eco-Innovation Observatory (EIO), integrante da Comunidade Europeia, define ecoinovação como a introdução de qualquer produto (bem ou serviço), processo, mudança organizacional ou até mesmo uma solução de marketing, novo ou melhorado, e que contribua para diminuir a utilização do uso de recursos naturais (água, energia, terra e demais materiais). Assim como, que diminua a liberação de substâncias maléficas ao meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida (EIO, 2013).

Desta forma, ecoinovações podem ser motivadas tanto por considerações econômicas como ambientais (ARUNDEL; KEMP, 2009), dois dos três pilares constituintes do ESG (*Environmental, Social and Governance*), e buscam diminuir o impacto negativo ao meio ambiente (KEMP; PEARSON, 2007).

Entre os motivadores ambientais, estão as regulamentações governamentais. Estas forçam as empresas a buscarem alternativas sustentáveis, como a diminuição das emissões de gases nocivos ao meio ambiente, diminuição do consumo de energia, eliminação do uso de materiais



RELISE

tóxicos, economia no uso de água e aumento da taxa de reciclagem, com menores custos, visando à sustentabilidade do negócio (HORBACH *et al.*, 2012). Nesse sentido, as regulamentações e legislações ambientais são importantes para dar força àecoinovação na empresa, pois apenas a tecnologia e demandas de mercado sozinhas não têm força suficiente para apoiar aecoinovação (RENNINGS, 2000).

Com base nos dois conceitos citados acima, tudo o que é novo para a empresa, e tem resultados positivos relacionados a aspectos ambientais durante o tempo em que estará em aplicação, é tido comoecoinovação. Da mesma forma, são consideradas alterações em processos que resultem em aumento de eficiência na utilização de recursos. Outro modo simples de se definir quando uma inovação adotada pode ser classificada comoecoinovação é sempre que seu uso diminuir o impacto negativo ao meio ambiente (CARRILO-HERMOSILLA *et al.*, 2009).

Neste aspecto, a EIO (2013) classifica aecoinovação em seis categorias, apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Tipos deecoinovação

Tipo	Descrição
Produto	Nesta categoria, estão inclusos produtos e serviços concebidos de modo que minimizem os impactos ambientais durante sua vida. Em relação ao produto, os aspectos ambientais são considerados desde sua concepção, com a utilização de materiais que favoreçam a otimização de recursos, melhor eficiência durante sua vida operacional e, que possibilitem a remanufatura e reciclagem ao final de sua vida útil. Em termos de serviços, são aqueles oferecidos de modo a suportar questões ambientais, como produtos financeiros (exemplo, eco-locações), serviços ambientais (exemplo, gestão de resíduos) e serviços que possibilitem melhor aproveitamento dos recursos (exemplo, compartilhamento de carro).
Processo	Ecoinovações de processo são aquelas inovações aplicadas nos processos produtivos, buscando a otimização dos mesmos em termos de custo, riscos e, ao mesmo tempo buscando reduzir impactos ambientais, através do aumento de eficiência energética, redução de consumo de materiais produtivos, diminuição de emissões, substituição do uso de materiais tóxicos durante a produção, assim como buscando minimizar a geração de resíduos, alinhados a outros termos, como produção limpa, zero emissões, zero desperdício e otimização de recursos.

Continua



RELISE

21

**Quadro 1 – Tipos de ecoinovação (continuação)**

Tipo	Descrição
Marketing	Ecoinovação de marketing compreende mudanças no design de produto ou embalagens, posicionamento de produto, promoção ou precificação. Trata-se de olhar para técnicas de marketing que podem ser usadas para levar pessoas a comprar, usar ou implementar ecoinovações. Além das técnicas convencionais, utilizar a rotulação do produto com a dimensão ambiental, é também uma forma de promover a ecoinovação ( <i>eco-labelling</i> ).
Organizacional	Trata-se da introdução de métodos organizacionais e sistema de gestão para questões ambientais de produto e produção. Trata-se de esquemas de prevenção de poluição, gestão ambiental, auditorias e gestão de fluxos (cooperação entre empresas a fim de evitar maiores impactos ambientais na cadeia de valor). A ecoinovação organizacional pode também incluir uma investigação de várias formas de colaborações organizacionais com potencial para boas ecoinovações.
Social	A ecoinovação social considera o ser humano como elemento integral em qualquer discussão relacionada ao consumo de recursos. Questões relacionadas ao comportamento e mudanças no estilo de vida e que levam ao consumo de produtos e serviços com o rótulo verde (ecológicos). Além disso, trata-se da oportunidade de desenvolver novos produtos com <i>inputs</i> diretos de usuários, de modo a evitar produtos com funcionalidades desnecessárias.
Sistemas	Refere-se a uma série de inovações conectadas que melhoram ou criam novos sistemas completamente novos, com funções específicas e que, em conjunto, reduzem os impactos. Uma função chave dos sistemas de inovação é que se trata de várias mudanças de <i>design</i> implementadas em conjunto. Por exemplo, um sistema de ecoinovação aplicado a uma casa não é simplesmente melhorar o sistema de isolamento térmico, ou trabalhar no equipamento de refrigeração ou aquecimento de maneira isolada; todo o projeto precisa estar integrado de maneira sistêmica.

Fonte: Adaptado de EIO (2013).

Por meio dos seis tipos de ecoinovação apresentados no Quadro 1, nota-se que há ecoinovações que envolvem a tecnologia, e outras que não, o que é reforçado por um estudo publicado pela OECD (2009), destacando os diferentes níveis, mecanismos e a evolução da manufatura sustentável, do simples controle da poluição até uma indústria ecológica, alinhadas ao potencial benefício ao meio ambiente, conforme Figura 1.

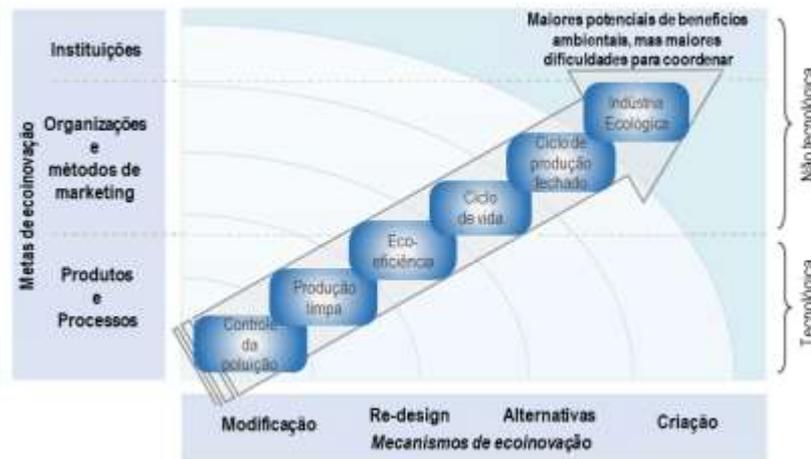
Em relação à ecoinovação de processos, a maior parte das indústrias conta com o avanço tecnológico como fonte de ecoinovações para seus processos (OECD, 2009). Neste sentido a inovação tecnológica pode favorecer tanto a agenda ambiental como a ecoinovação em empresas. Também podem estimular o mercado, através da oferta de produtos ecológicos, além de reduzir



RELISE

custos, por meio de tecnologias com maior eficiência energética e otimização de materiais produtivos (RENNINGS, 2000).

**Figura 1** – Evolução de manufatura sustentável e níveis de ecoinovação



Fonte: Adaptado de OECD (2009).

#### *Indústria 4.0 no setor automotivo*

O termo *indústria 4.0* surgiu na Alemanha e foi cunhado no ano de 2011 na Feira de Mecânica de Hanover. Representa a utilização de sistemas ciberfísicos (integração entre pessoas, objetos e máquinas) aplicados à indústria (DRATH; HORCH, 2014). A i4.0 faz parte de um plano de desenvolvimento das indústrias da Alemanha, envolvendo organizações industriais, entidades de pesquisa e desenvolvimento bem como o governo (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Da criação do termo até a atualidade, a i4.0 tem sido uma maneira estruturada de representar o potencial de ferramentas disponíveis dentro da chamada Quarta Revolução Industrial, a qual resulta da integração da evolução de várias áreas da ciência e tecnologia. Entre elas, a evolução digital representada pelo aumento de capacidade de processamento, coleta e armazenamento de dados, além da conectividade com redes de alta velocidade, o que pode proporcionar a integração, interação e convergência entre várias tecnologias, equipamentos e usuários (SCHWAB, 2018).



RELISE

Tudo isso, em paralelo ao desenvolvimento das demais tecnologias provenientes das últimas revoluções industriais, agora convergindo e resultando em inúmeras possibilidades tecnológicas para a indústria e a sociedade (KAGERMANN *et al.*, 2013). Entre essas possibilidades, nove são classificadas como pilares da i4.0 e servem de base para tal transformação, conforme apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Pilares da i4.0**

<b>Pilar i4.0</b>	<b>Definição</b>
Realidade aumentada	A realidade aumentada permite a interação do usuário entre a realidade virtual e o mundo físico com uso de óculos especiais ou aplicativos em celulares. Eles possibilitam, por exemplo, aplicações na seleção de peças em armazém logístico, instruções de reparo para ser aplicada em campo e em tempo real, manuais de operação, assim como treinamentos operacionais em modo virtual.
Internet industrial	Também conhecida por (IoT – <i>Internet of Things</i> ), trata-se de máquinas e equipamentos preparados com <i>softwares</i> e sistemas computacionais padrões, possibilitando comunicação entre si, coleta e análise de dados de modo descentralizado e em tempo real, favorecendo controle e otimizações em processos industriais.
Robô autônomo	Robôs convencionais têm sido amplamente utilizados desde a Terceira Revolução Industrial para a utilização de atividades complexas e repetitivas. No entanto, com a i4.0 têm ganhado flexibilidade, autonomia e cooperação com o meio em que estão instalados, podendo interagir com outros robôs e até mesmo com o ser humano, o que possibilita uma gama de aplicação maior que a utilizada na indústria até então, além de menores custos de implementação.
Integração de sistemas	Graças à capacidade e velocidade de processamento e troca de dados, é possível que haja uma integração de sistemas entre fornecedores, parceiros e clientes (integração horizontal), bem como internamente na empresa entre as diversas áreas (integração vertical). Tal integração por compartilhamento de dados possibilita uma redução de <i>lead time</i> e maior confiabilidade nas informações.
Análise de dados	Dados de máquinas, processos e sistemas são coletados e utilizados em tempo real para a tomada de decisões visando melhorias de qualidade, economia de energia e otimizações de processos em geral, com foco na disponibilidade dos equipamentos, trabalhando de maneira preditiva com eles.
Simulação	Como evolução dos modelos 3D já utilizados nas fases de engenharia, através da coleta, armazenamento e tratamento de dados, a simulação agora pode ser aplicada em plantas e linhas produtivas de modo a simular situações reais do dia a dia durante as operações antes de serem colocadas em prática, e dessa forma auxiliar na tomada de decisões, redução de falhas, otimização de processos, aumento de produtividade.
Segurança cibernética	A partir do momento em que as empresas exploram a conectividade de suas linhas, equipamentos e sistemas por meio de protocolos de comunicação da i4.0, há a necessidade da proteção de ameaças de ataques cibernéticos, levando as organizações a buscarem formas de proteção e desenvolvimento de sistemas de proteção.

Continua



RELISE

**Quadro 2 – Pilares da i4.0 (continuação)**

Pilar i4.0	Definição
Computação em nuvem	Com a utilização das tecnologias disponíveis na i4.0, sistemas de produção demandam um acréscimo na quantidade de dados compartilhados pela empresa (interna e externamente), o que ao mesmo tempo é atendido através da evolução do armazenamento e acesso à nuvem.
Manufatura aditiva	A manufatura aditiva possibilita a produção de lotes customizados de peças e protótipos utilizando impressoras 3D, peças de geometria complexa, baixo peso, otimização de uso de matéria-prima, transporte, área e gestão de estoque.

Fonte: O autor. Adaptado de Rüßmann *et al.* (2015).

No entanto, o fato de estarem inseridas na Quarta Revolução Industrial não significa que todas as empresas e organizações estejam em tal nível. Na verdade, certos passos são necessários até seu atingimento, os quais são conhecidos como níveis de maturidade da i4.0, representando a escalada necessária na jornada da transformação digital (SCHUH; ANDERL; GAUSEMEIER; HOMPEL; WAHLSTER, 2013). A Figura 2 representa os passos que servem como referência para as empresas, tanto para avaliação como também uma base de preparação para as etapas seguintes.

**Figura 2 – Níveis de maturidade da i4.0**



Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2013).

Por outro lado, no contexto industrial, empresas automotivas têm processos industriais que, por característica, utilizam recursos naturais em larga escala, com utilização de processos de soldagem e pintura, que consomem



RELISE

considerável quantidade de água e energia, esta última nem sempre renovável. Além de tais processos serem fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e geração de resíduos sólidos e líquidos durante a fabricação (VAZ; LEZANA; MALDONADO, 2017).

Processos de pintura automotiva também são geradores de compostos orgânicos voláteis, prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, que demandam consideráveis quantidades de energia para tratamento antes de serem liberados na atmosfera. Graças ao avanço tecnológico nos processos de pintura nos últimos anos, tais volumes têm sido reduzidos, no entanto ainda são problemas a serem tratados (ONOFRE; GODINA; CARVALHO; CATARINO, 2020).

## METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa é qualitativa com estudo de caso (Yin, 2018), conforme Quadro 3. A unidade de análise foi a área de operações de uma multinacional do ramo automobilístico, instalada no Brasil há 43 anos, e com foco nas áreas de solda, pintura e montagem final. A escolha deste caso é justificada em função de processos produtivos de empresas automobilísticas demandarem maiores níveis de tecnologia e inovação em seus processos, e ao mesmo tempo representarem significativo impacto ambiental por meio de suas operações (VAZ; LEZANA; MALDONADO, 2017).

**Quadro 3** – Design Metodológico

Método	Estratégia	Unidade de análise	Fontes de dados	Técnica de análise
Qualitativo	Estudo de caso	Área de produção de uma indústria multinacional	1. Relatórios internos 2. arquivos em excel, 3. Painéis do Power BI 4. Informações dos equipamentos	Qualitativa por meio da classificação e explicação objetiva

A coleta de dados foi realizada em banco de dados e sistemas operacionais da empresa, levando em consideração o período de janeiro de 2021 e outubro de 2022. A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa



RELISE

por meio da classificação e explicação objetiva dos principais indicadores de i4.0 e deecoinovação. Conforme Eisenhardt (2021), essa explicação a partir dos dados de caso pode reforçar a literatura evidenciando a construção de teoria. A triangulação dos dados ocorreu por validação entre fontes distintas de dados como por exemplo relatórios, arquivos em excel, painéis do Power BI e dados primários dos equipamentos a partir da i4.0.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados de bancos de dados e sistemas da empresa, uma consulta foi realizada para levantar ecoinovações implementadas entre o período de janeiro e outubro de 2022, e com o uso de alguma das tecnologias da i4.0. As referências para consulta foram baseadas em resultados e contribuições ao meio ambiente, conforme os indicadores de ecoinovação de processo (EIO, 2013), como apresentado no Quadro 4.

**Quadro 4** – Indicadores de ecoinovação

	Indicador	Unidade
1	Redução de emissões de CO <sub>2</sub>	ton
2	Redução de consumo de energia	MWH
3	Redução de consumo de água	l
4	Reúso, reciclagem, remanufatura	ton; l
5	Atendimento a demandas legais (número de legislações)	Unidade
6	Promoção do uso de energia limpa ou renovável	MWH

Fonte: Adaptado de EIO, 2013.

Além desses indicadores de ecoinovação, outras categorias analíticas foram definidas como parâmetros para futuras comparações e análises, como apresentado no Quadro 5:



RELISE

27

**Quadro 5** – Características relevantes de ecoinovações

	Característica	Classificação
1	Motivador da ecoinovação	meio ambiente; legislação; custo; segurança; qualidade
2	Origem da ecoinovação	matriz; interna; fornecedor
3	Nível de inovação	incremental; disruptiva
4	Tecnologia utilizada	conforme pilares da i4.0
5	Nível i4.0	I; II; III; IV; V; VI

Fonte: Dados da pesquisa

Como resultado, cinco ecoinovações foram encontradas entre janeiro e outubro de 2022, sendo três implementadas e duas em fase de implementação. Para obter representatividade na pesquisa, ampliou-se o período de busca entre janeiro 2021 e outubro de 2022. Dessa forma, dez ecoinovações foram identificadas e descritas conforme a seguir.

#### *Análise e dosagem química*

O motivador desta ecoinovação foi baseado em *benchmarking* com a matriz da empresa pesquisada, na Suécia, a qual possui o mesmo sistema implementado há cinco anos. No Brasil, a mesma ecoinovação está em fase de implementação e consiste na automação do processo de controle e dosagem dos sete tanques de pré-tratamento para melhorar a eficiência das análises e dosagens químicas, qualidade do banho, além das condições operacionais do processo e reduzir o consumo dos produtos químicos.

Tecnicamente, um equipamento com uma unidade de processamento de dados comanda a coleta automática e *online* de amostras do banho e as compara com parâmetros programados de acordo com especificações de engenharia. No caso de alguma correção necessária, o próprio equipamento faz a adição automática de material químico ou aciona automaticamente algum comando de processo até atingir a correção. Em termos de nível de tecnologia, conforme Schuh (2013), ainda está no nível de “Visibilidade”, uma vez que o equipamento não está ligado a uma rede neural de decisões alinhadas com



RELISE

outros processos da linha. No entanto, um nível maior de maturidade é possível e esperado por meio de adaptações tecnológicas integradas na linha de pré-tratamento como um todo.

Além dos ganhos ambientais, processo, qualidade dos banhos, menor consumo de água e redução de tratamento de efluentes, as condições de saúde e segurança dos técnicos de laboratório também foram beneficiadas pela diminuição de exposição aos tanques para realização das coletas, reforçando benefícios da i4.0 para o lado humano.

#### *Medição de gás natural*

Uma das fontes energéticas na empresa é o gás natural para a alimentação de caldeiras destinada ao aquecimento de água, a qual é necessária ao processo produtivo de pintura. Todos os equipamentos já possuíam sensores e *displays* disponibilizando dados de processo, como temperatura e vazão para queima, caracterizando o primeiro nível da i4.0.

No entanto, tais dados precisavam ser coletados manualmente, dificultando sua confiabilidade e frequência. Dessa forma, por meio do uso de tecnologia de transmissão via onda de rádio de longa distância (*LoRa – Long Range*), todos os pontos de uso foram conectados a uma central de automação. Assim a leitura de dados passou a ser em tempo real e em maior quantidade, favorecendo o monitoramento, correções e otimizações no processo de queima nas caldeiras e estufas.

#### *Gerenciamento de energia elétrica*

EcoInovação baseada em um *software online* com a rede alimentadora de energia elétrica da empresa. O objetivo é fazer a leitura em período integral registrando toda a energia elétrica consumida e com as derivações de prédios industriais. Até o momento desta pesquisa, o projeto estava em fase de



RELISE

implementação, utilizando três pilares da i4.0: análise de dados, internet industrial (*IoT*) e computação em nuvem. Essas tecnologias combinadas visam possibilitar o monitoramento e suporte para a gestão de energia na empresa, com dados para tomada de ações e decisões focadas na eficiência energética.

### *Reúso de água*

A partir das tecnologias de sensorização e transmissão de dados por meio de internet industrial, via cabo, essa ecoinovação possibilitou o mapeamento e gerenciamento detalhado da água utilizada em tanques do processo de pintura. Como resultado, ações puderam ser tomadas para colaborar com o indicador de ecoinovação relacionado à otimização do uso de recursos naturais. Entre elas, a ecoinovação “Reúso da água de enxágue”, que resultou na redução de consumo de água de 1.920 m<sup>3</sup> por ano.

### *Otimização de processo de pintura robotizada*

Esta ecoinovação de processo foi implementada com base em tecnologia utilizada pela matriz da empresa, na Suécia, e desenvolvida em parceria com um fornecedor de tratamento e pintura de superfícies automotivas, na Alemanha.

Uma característica do processo de pintura, neste caso por pulverização, independente se manual ou automática, é que apenas uma parcela de tinta aplicada pela pistola ou pulverizador é aderida à superfície a ser pintada em forma de *spray*; outra parte é perdida em forma de *overspray*, ficando suspensa no ar da cabine de pintura, o qual é retirado e tratado por meio de processos de separação. No caso de um processo manual, a taxa de aproveitamento é em média 30% (DURR, 2009); por outro lado, quando aplicada com robô, essa taxa passa para 85% (DURR, 2009) de aproveitamento. Essa eficiência resulta em uma redução de 50% de tinta e solvente necessários por unidade produzida,



RELISE

além da redução de volume de ar e água utilizados no processo de tratamento de resíduos.

#### *Automação em processo de efluentes*

Uma sonda eletrônica para medir o nível de acidez (ph) de um dos tanques foi instalada diretamente no tanque de neutralização de efluentes industriais. A partir da leitura, o sinal é enviado para um sistema de dosagem individual controlado por um CLP (controlador lógico programável), que permite fazer a correção química do ph. Além da dosagem, o nível dos tanques com efluentes em tratamento é monitorado por meio de sensores, os quais enviam a leitura para uma sala de controle, na qual dados sobre o *status* atual do processo está disponível para monitoramento.

Essa ecoinovação de processo surgiu primeiramente por questões ergonômicas e de segurança para a operação, que antes era feita diretamente nos tanques de efluentes. Ao mesmo tempo, viu-se a oportunidade de ganhos ambientais, aumentando a eficiência do monitoramento por meios eletrônicos, evitando descartes desnecessários ou riscos de ocorrências ambientais.

Dessa forma, viu-se aqui que a ecoinovação vai além dos ganhos ambientais e financeiros, trazendo também oportunidades e melhorias para questões de saúde e segurança no trabalho.

#### *Detecção de vazamentos de ar comprimido*

Na linha de montagem final do caminhão, o ar comprimido ainda é uma fonte de energia para muitas máquinas de aperto e equipamentos auxiliares para a montagem. Considerando características inerentes às instalações pneumáticas, pequenos vazamentos não são perceptíveis. No entanto, quando somados, representam significativas perdas financeiras e ambientais devido à geração desperdiçada por meio dos compressores de ar.



RELISE

Para auxiliar na detecção desses vazamentos e evitar perdas na rede pneumática, um equipamento utilizando tecnologia ultrassônica foi adquirido para detectar vazamentos não perceptíveis no dia a dia. Além da detecção, outra vantagem observada com tal equipamento foi a digitalização dos dados coletados, facilitando na documentação do processo, do histórico de manutenção, assim como possível conexão com outros sistemas da empresa. Como resultado, em 2022 foi registrada uma redução de 88% em perdas devido a vazamentos, representando uma economia de 736.436 m<sup>3</sup> de ar comprimido por ano e, conseqüentemente, economia de energia para sua geração.

#### *Digitalização de instruções de trabalho*

Instruções operacionais contendo informações de montagem de cada caminhão, que antes eram impressas individualmente em folhas de tamanho A4, passaram a ser digitais. Dessa forma, os operadores passaram a receber informações técnicas por meio de telas instaladas nas estações de trabalho. Essa aplicação foi possível graças à integração de sistemas, com o uso de *big data* e de redes industriais, deixando de usar 390.600 folhas A4 por ano, o que representa 19 toneladas de papel anuais. Além disso, com tal aplicação, facilitou a interpretação das atividades por parte dos operadores e, conseqüentemente, diminuiu possibilidades de erros, problemas de qualidade, retrabalhos e refugos.

#### *Manufatura aditiva com polímeros biodegradáveis*

A aplicação iniciou como uma prova de conceito em 2019, a partir do *hub* de inovação da empresa, para verificar os benefícios e aplicações de impressoras tridimensionais na indústria. Como resultado, há doze sendo utilizadas na organização.

Entre as aplicações, estão a construção de peças para protótipos destinados a engenharia, aplicações para manutenção e peças teste para



RELISE

dispositivos. O ganho ambiental é reconhecido pela utilização de materiais recicláveis ou biodegradáveis que alimentam as impressoras para fabricação das peças, com impacto ambiental menor se comparado a outros tipos de materiais.

### *Simulação de projetos para processos automatizados*

Considerada um dos pilares da i4.0, a simulação aplicada a processos produtivos automatizados é considerada uma ecoinovação de processos na empresa.

Do lado econômico, há a redução de tempo de instalação industrial, maior assertividade no projeto, assim como redução de retrabalho durante a instalação. Do lado ambiental, entende-se que todos os itens mencionados contribuem positivamente para o meio ambiente, desde a redução de visitas aos fornecedores, reuniões em ambientes virtuais e uso de realidade virtual.

Os resultados das dez ecoinovações apresentadas acima estão detalhados na Tabela 1, com base nos indicadores ambientais e otimizações por ano de operação, assim como nível de i4.0. Os valores foram obtidos a partir de dados coletados diretamente dos processos produtivos, ou calculados teoricamente conforme referências apresentadas. Considerando as dez ecoinovações analisadas na Tabela 1, seis contribuíram diretamente para indicadores ambientais. As demais apresentaram ganhos qualitativos que colaboraram de modo indireto para ganhos ou gerenciamento de dados ambientais.



RELISE

33

**Tabela 1 – Características relevantes de ecoinovações**

<b>Ecoinovação de processos adotadas</b>	<b>Tecnologia Aplicada</b> (SCHUH <i>et al.</i> 2013; RÜßMANN <i>et al.</i> , 2015)	<b>Nível i4.0</b> (SCHUH <i>et al.</i> 2013)	<b>CO<sub>2</sub> (ton)</b>	<b>Energia (MWH)</b>	<b>Água (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduos (ton)</b>
Análise e dosagem química	Digitalização;	III	0	0	0	0
Medição de gás natural	Sensorização; Internet industrial; integração de sistemas; armazenamento e análise em nuvem.	IV	26	136	0	0
Gerenciamento de energia elétrica	Internet industrial; integração de sistemas; armazenamento e análise em nuvem.	IV	0	0	0	0
Reúso de água	Sensorização; digitalização.	II	0	0	1.920	0
Pintura automatizada	Robótica; automação; integração de sistemas.	III	0	0	0	3.067
Automação em processo de efluentes	Sensorização; digitalização.	II	0,4	5	480	0
Detecção de vazamentos de ar comprimido	Digitalização conectividade.	II	3,6	85	-	-
Digitalização de instruções de trabalho	Digitalização; integração de sistemas.	III	0	0	0	19
Manufatura aditiva	Impressão 3D	II	0	0	0	0
Simulação de processos automatizados	<i>Software</i> ; integração de sistemas.	III	0	0	0	0

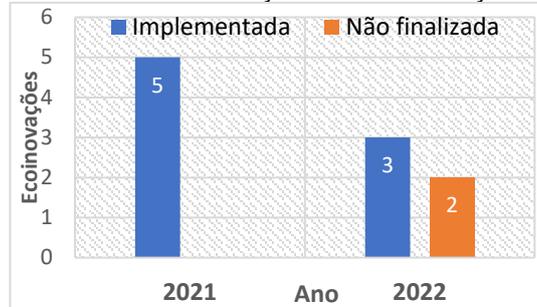
Fonte: Dados da pesquisa

Sob a ótica da utilização da i4.0, cinco ecoinovações de processo foram encontradas em 2022. Destas, três implementadas e duas em fase de implementação, conforme Gráfico 1, demonstrando que a i4.0 ainda é pouco explorada nesse campo. No mesmo gráfico, aproveitou-se a oportunidade de mostrar a comparação em relação ao ano anterior.



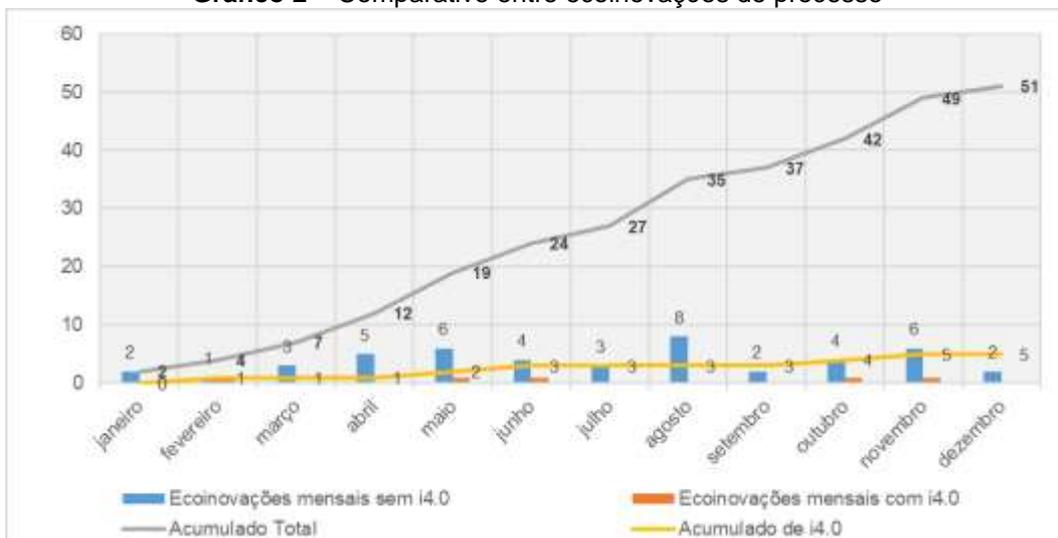
RELISE

**Gráfico 1 – Ecoinoações com a utilização da i4.0**



A fim de comparar com outros tipos de ecoinovação implementadas em 2022, sem a utilização da i4.0, dados foram levantados conforme exposto no Gráfico 2, com a distribuição mensal e acumulativa. A partir deste constata-se que, o número de ecoinovações adotadas a partir da i4.0 ainda é baixo de comparado às demais:

**Gráfico 2 – Comparativo entre ecoinovações de processo**



Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que a i4.0, dentro dos níveis analisados nesta pesquisa, contribui para a adoção de ecoinovações de processo e, desse modo, para os indicadores de ecoinovação e metas ambientais da empresa. No entanto, considerando o potencial de transformação tecnológica disponível da i4.0, nota-se que esta ainda pode ser mais explorada



RELISE

na organização pesquisada para os níveis avançados de transparência, preditibilidade e adaptabilidade (SCHUH *et al.*, 2013).

Finalmente, com base nos dados obtidos das dez ecoinovações de processo adotadas na empresa, Tabela 1, e das observações do pesquisador, a Figura 3 representa um modelo proposto de modo a entender como as ecoinovações apresentadas estão posicionadas em relação aos níveis de maturidade da i4.0 (SCHUH *et al.*, 2013), e contribuição aos indicadores de ecoinovação.

**Figura 3 –** Posicionamento de ecoinovações de processo na i4.0



A análise da Figura 3 revela uma clara tendência nos padrões de aplicação da Indústria 4.0 nos processos produtivos da empresa em questão. Os estágios iniciais da i4.0, ou seja, a conectividade e a visibilidade, emergem como os elementos mais proeminentemente incorporados. Essa observação sugere que a organização direciona seus esforços iniciais para a criação de uma infraestrutura de base sólida para a transformação digital. Simultaneamente, é possível discernir que esses estágios iniciais estão direcionados para a implementação de ecoinovações específicas, notavelmente aquelas que se concentram na eficiente otimização de recursos naturais e na mitigação de potenciais fontes de poluição.



RELISE

Por outro prisma, é perceptível a carência de adoção de estágios mais avançados da i4.0 nos processos operacionais. Isso sugere que a empresa ainda não integrou completamente as dimensões mais sofisticadas e complexas da i4.0 em suas práticas correntes. Essa lacuna se traduz em uma notável ausência deecoinovações que poderiam emergir a partir da exploração desses níveis mais elevados da i4.0. Dessa forma, enquanto os estágios iniciais demonstram um enfoque preciso e direcionado, a falta de incorporação dos estágios mais avançados indica um espaço para crescimento e um vasto potencial inexplorado de ecoinovações associadas.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados empíricos obtidos nesta pesquisa, foi constatado que a implementação da Indústria 4.0 (i4.0) exerce uma influência significativa na facilitação da adoção de ecoinovações de processo. Essa influência se materializa por meio de ganhos substanciais na redução do consumo de recursos naturais e na eficaz mitigação de emissões poluentes. Além destes impactos ambientais diretos, também se observou uma melhoria das condições laborais mediante a automação de tarefas que anteriormente eram consideradas insalubres ou perigosas.

Dessa forma, torna-se evidente a relevância da i4.0 como um agente catalisador que converge com os três pilares basilares da sustentabilidade, em consonância com o enquadramento conceitual do Environmental, Social and Corporate Governance (ESG). Convém ressaltar que, contrariamente às especulações prévias de alguns autores (MUBARAK et al., 2021; BONILLA et al., 2018), os resultados desta pesquisa corroboram que a i4.0, mesmo não tendo originado primariamente com o propósito ambiental, exerce um papel eficaz na promoção de ecoinovações de processo, inclusive quando em estágios



RELISE

iniciais de maturidade tecnológica. Essas ecoinovações se mostraram substancialmente alinhadas com os objetivos ambientais da organização.

Entretanto, é relevante destacar que, na organização objeto deste estudo, a implementação da i4.0 ainda apresenta uma aplicação relativamente limitada no âmbito das ecoinovações de processo, especialmente quando contrastada com outras modalidades de inovações sustentáveis no mesmo contexto temporal. Apesar disso, é possível identificar algumas instâncias nas quais a i4.0 é mais proeminente, como na transmissão de dados por meio da Internet Industrial, simulações em ambientes virtuais e adoção de soluções baseadas em computação em nuvem. Tais casos, embora pontuais, demonstram um notável potencial de expansão dessas abordagens.

Vale mencionar que a pesquisa apresenta certas limitações intrínsecas, notadamente seu escopo centrado em uma única subsidiária do setor automotivo. Nesse contexto, recomenda-se encarecidamente que organizações de porte similar, com consideráveis pegadas ambientais, como aquelas presentes no segmento automobilístico, deem continuidade a esse empreendimento investigativo. Isso permitirá a obtenção de insights robustos e generalizáveis que possam respaldar a implementação de ecoinovações catalisadas pela i4.0 em um espectro mais amplo de contextos empresariais.

Por último, cumpre ressaltar que este estudo representa um avanço significativo em relação às investigações anteriores, como a de Lima et al. (2021), reafirmando não somente a contribuição da i4.0 para o progresso industrial, mas também sua capacidade intrínseca de gerar benefícios concretos para o meio ambiente e, por conseguinte, para a sustentabilidade em sua plenitude.



RELISE

## REFERÊNCIAS

ARUNDEL, A.; KEMP, R. Measuring eco-innovation. *Working Paper Series – United Nations University (UNU)*, 2009.

BARBIERI, J. C.; VASCONCELOS, I. F. G.; ANDREASSI, T.; VASCONCELOS, F.C. *Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições*. São Paulo: FGV. RAE, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 146-154. 2010.

BONILLA, S.; SILVA, R.O.H.; SILVA, M. da; GONÇALVES, R.; SACOMANO, J.B. Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. *Sustainability*, n. 10, p. 3740. 2018. DOI: 10.3390/su10103740

CARRILLO-HERMOSILLA, J.; RÍO GONZÁLEZ, P.D.; KÖNNÖLA, T. *Eco-Innovation: when sustainability and competitiveness shake hands*. Palgrave Macmillan, London. 2009. DOI: 10.1057/9780230244856.

DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: hit or hype? [Industry Forum]. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, n. 8, v. 2, p. 56-58. 2014.

DURR. *Catálogo*. 2009. Disponível em: <https://pdf.directindustry.com/pt/pdf/duerr-technik-9197.html> Acesso em: 16 abr. 2023.

EIO. Europe in transition: Paving the way to a green economy through eco-innovation. *Eco-Innovation Observatory*. Funded by the European Commission, DG Environment, Brussels. 2013.

EISENHARDT, K. M. What is the Eisenhardt Method, really?. *Strategic Organization*, 19(1), 147-160, 2021.

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. Determinants of Eco-innovations by Type of Environmental Impact. The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Centre for European Economic Research*. 2012.

KAGERMANN, H., WAHLSTER & W., HELBIG, J. Securing the future of German manufacturing industry: recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0. *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, april, p. 1-84. 2013.



RELISE

39

KEMP, R.; PEARSON, P. *Final report MEI project about measuring eco-innovation*. 2007. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/consumption-innovation/43960830.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2022.

LIMA, F.P.; SELEME, R.; CLETO, M.G. Indústria 4.0 e a Sustentabilidade Organizacional. RELISE - Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, V. 7, n. 2, p. 88-102, mar-abr, 2022.

MUBARAK, F.M.; TIWARI, S.; PETRAITE, M.; MUBARIK, M.; RASI, R.; How Industry 4.0 technologies and open innovation can improve green innovation performance? *Management of Environmental Quality*. Emerald, 1007-1022. 2021.

OECD/Eurostat. Oslo Manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation, 4th edition, the measurement of scientific, technological and innovation activities, *OECD Publishing*, Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>

ONOFRE, A.; GODINA, R.; CARVALHO, H.; CATARINO, I.; Eco-innovation in the cleaning process: an application of dry ice blasting in automotive painting industry. *Journal of Cleaner Production*, 272. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122987>.

RENNINGS, K. Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological Economics*. p. 319-32. 2000. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999001123>.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston consulting group. 2015.

SCHWAB, K. *Shaping the future of the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum. 2018.

SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M.; WAHLSTER, W. *Industrie 4.0 maturity index managing the digital transformation of companies*. Germany: Acatech. 2013.

TELUKDARIE, A.; BUHULAIGA, E.; BAG, S.; GUPTA, S.; LUO, Z. Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, n. 118, p. 316-329. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.030>



RELISE

VAZ, C.R.; LEZANA, A.G.R; MALDONADO, M.U. Sustentabilidade no setor automotivo: Análise de conteúdo estruturado. *RISUS - Journal on Innovation and Sustainability*. v. 8, n. 2, p. 79-103. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.24212/2179-3565.2017v8i2p79-103>.

YIN, R. *Case study research and applications – design and methods*. 6. ed. California: Sage, 2018.