

**BENEFÍCIOS AMBIENTAIS PROPORCIONADOS PELA ADOÇÃO DAS
TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UMA INDÚSTRIA DE INJETADOS
TERMOPLÁSTICOS**

*ENVIRONMENTAL BENEFITS PROVIDED BY THE ADOPTION OF INDUSTRY 4.0
TECHNOLOGIES IN A THERMOPLASTIC INJECTION INDUSTRY*

DUSAN SCHREIBER
UNIVERSIDADE FEEVALE

LUCIANO SARMENTO

Comunicação:

O XII SINGEP foi realizado em conjunto com a 12th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com o Casablanca Climate Leadership Forum (CCLF 2024), em formato híbrido, com sede presencial na ESCA Ecole de Management, no Marrocos.

Agradecimento à órgão de fomento:
CNPQ

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS PROPORCIONADOS PELA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UMA INDÚSTRIA DE INJETADOS TERMOPLÁSTICOS

Objetivo do estudo

Analisar o processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0 e seus potenciais benefícios ambientais.

Relevância/originalidade

A indústria de injetados termoplásticos se caracteriza pela geração de resíduos sólidos que podem causar relevante impacto negativo no meio ambiente. Com o avanço tecnológico sugere-se avaliar de adoção de tecnologias da indústria 4.0 podem contribuir para mitigar o impacto ambiental.

Metodologia/abordagem

Estudo de caso único, com abordagem qualitativa, com a coleta de dados empíricos por meio de duas entrevistas em profundidade (Diretor industrial e Gerente de PCP), observação sistemática participante e levantamento documental. Os dados empíricos foram submetidos à análise de conteúdo.

Principais resultados

Os resultados evidenciaram os desafios para adotar as tecnologias da indústria 4.0, sob a ótica de viabilidade técnica e econômica, bem como os benefícios ambientais potenciais, visto que a empresa não possui sistema de monitoramento adequado dos resultados gerados pelas referidas tecnologias.

Contribuições teóricas/metodológicas

A pesquisa oferece contribuição para o avanço do conhecimento científico em relação a adoção das tecnologias da indústria 4.0 para promover as práticas sustentáveis.

Contribuições sociais/para a gestão

A pesquisa oferece contribuição para gestores organizacionais interessados em adotar as tecnologias da indústria 4.0 para mitigar os impactos ambientais.

Palavras-chave: Indústria de Injetados Termoplásticos, Tecnologias da Indústria 4.0, Mitigação do Impacto Ambiental

ENVIRONMENTAL BENEFITS PROVIDED BY THE ADOPTION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN A THERMOPLASTIC INJECTION INDUSTRY

Study purpose

Analyze the process of adopting Industry 4.0 technologies and their potential environmental benefits.

Relevance / originality

The thermoplastic injection molding industry is characterized by the generation of solid waste that can cause a significant negative impact on the environment. With technological advances, it is suggested to evaluate the adoption of Industry 4.0 technologies that can contribute to

Methodology / approach

Single case study, with a qualitative approach, with the collection of empirical data through two in-depth interviews (Industrial Director and PPC Manager), systematic participant observation and documentary research. The empirical data were subjected to content analysis.

Main results

The results highlighted the challenges of adopting Industry 4.0 technologies, from the perspective of technical and economic feasibility, as well as potential environmental benefits, given that the company does not have an adequate monitoring system for the results generated by these technologies.

Theoretical / methodological contributions

The research offers a contribution to the advancement of scientific knowledge regarding the adoption of Industry 4.0 technologies to promote sustainable practices.

Social / management contributions

The research offers a contribution to organizational managers interested in adopting Industry 4.0 technologies to mitigate environmental impacts.

Keywords: Thermoplastic Injection Industry, Industry 4.0 Technologies, Environmental Impact Mitigation

BENEFÍCIOS AMBIENTAIS PROPORCIONADOS PELA ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 EM UMA INDÚSTRIA DE INJETADOS TERMOPLÁSTICOS

1 Introdução

O desenvolvimento industrial foi considerado por séculos o eixo estruturante e o caminho mais indicado para o crescimento econômico dos países. Este modelo, implantado após a Revolução Industrial I e II, foi parcialmente bem sucedido, especialmente em relação à geração de riqueza e consolidação de bases do sistema capitalista. O referido sucesso, no entanto, veio acompanhado, do aumento da desigualdade social, ao concentrar a riqueza gerada em um estrato da sociedade muito reduzido numericamente, perpetuando a situação de pobreza para a maior parte da população (BARBIERI, 2016). Além disso, o crescimento econômico contribuiu, de forma impactante, para a precarização do meio ambiente, tanto por meio de exploração desenfreada de recursos naturais e não renováveis, direcionando-os para a produção em série em conglomerado industriais, como, também, pelo descarte de resíduos sólidos, contaminação de efluentes líquidos e emissões atmosféricas em abundância, decorrentes de incineração de combustíveis fósseis para os múltiplos fins no ambiente fabril (SCHREIBER, 2023).

Na metade do século passado, após a ocorrência de diversos incidentes de relevância global, que resultaram em prejuízos ambientais em escala, além de mortes de pessoas e deterioração do ecossistema, em todos os continentes do planeta, a sociedade civil se organizou para pressionar por mudanças (BOCKEN, N. M. P. et al., 2014). A articulação de forças sociais, com destaque para as organizações não governamentais e representantes de governos de vários países, resultou na promoção de conferências internacionais, as quais respaldadas por cobertura midiática e legitimadas por pesquisas científicas, contribuiu para a promulgação de leis de proteção ao meio ambiente, principalmente nos países do continente europeu (DEIF, 2011).

Ao longo das décadas a legislação ambiental se tornou mais rigorosa e se disseminou para quase todos os países. As pesquisas científicas comprovaram que o modelo de crescimento econômico precisa ser descontinuado para dar lugar ao modelo de desenvolvimento sustentável, priorizando a proteção ao meio ambiente (SCHREIBER, 2023). Este processo ocorreu também no Brasil, sendo intensificado nas últimas décadas, por meio de legislação ambiental tecnicamente e cientificamente embasada e com o objetivo de contribuir para assegurar a qualidade ambiental alinhada com o bem estar da população em geral (BOSSLE, M. B. et al., 2016).

Em paralelo com o processo de conscientização ambiental da sociedade, em nível global, intensificou-se o ritmo de novas descobertas científicas e de desenvolvimento tecnológico. O referido processo se acelerou com a popularização de acesso a rede mundial de computadores, a internet, nos anos noventa do século passado. Associada e embasada em avanços de eletrônica, especialmente com a miniaturização de semicondutores e de sua fabricação em larga escala, a digitalização contribuiu para a automação e robotização, notadamente em ambientes industriais. A concepção de um amplo leque de tecnologias de conectividade facultou o surgimento do conceito da indústria 4.0, no ano 2010 (KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J., 2013).

Concebidas originalmente para serem incorporados em processos operacionais no ambiente fabril, as tecnologias da indústria 4.0 começaram a ser testadas em outros ambientes e diversos outros fins. Desta forma as tecnologias da indústria 4.0 foram disseminadas a

praticamente todas as atividades econômicas e, também, para uso pessoal. Atualmente as tecnologias como inteligência artificial, armazenamento e processamento de dados na nuvem, realidade virtual e aumentada, só para citar alguns, já fazem parte do dia a dia de usuários pessoas físicas (LU, 2017).

Sendo assim, a contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para aumento e aprimoramento da produtividade de pessoas jurídicas e físicas, já é reconhecida e comprovada. No entanto, a adoção das referidas tecnologias, para a proteção do meio ambiente, ainda está em processo de testagem e avaliação. Mas, a partir de pesquisas realizadas sobre o tema, mesmo que escassas, já é possível afirmar que se trata de uma tendência em curso (NASCIMENTO, D. L., 2018; SCHREIBER, 2023).

Com o intuito de contribuir para a discussão sobre este tema, de adoção de tecnologias da indústria 4.0 em ambientes industriais, para mitigar os impactos ambientais, foi realizada a pesquisa, em uma indústria de injetados termoplásticos, localizada na região sul do país, nos primeiros meses do ano 2024. O objetivo da pesquisa foi o de analisar o processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0 na empresa objeto do estudo, e seus potenciais benefícios ambientais. O delineamento metodológico é, portanto, de estratégia de estudo de caso único, abordagem qualitativa, com a coleta de dados empíricos por meio de duas entrevistas em profundidade (Diretor industrial e Gerente de PCP), observação sistemática participante (um dos autores ocupa o cargo de Gerente de Operações na empresa) e levantamento documental. Os dados empíricos foram submetidos à análise de conteúdo.

O trabalho inicia com esta introdução, sequenciado pela revisão teórica e detalhamento do percurso metodológico. Após são apresentados e discutidos os resultados do estudo. Considerações finais e relação de referências de obras consultadas encerram o trabalho.

2. Manufatura Verde

Compreende-se que a fumaça expelida pelas chaminés das indústrias, que outrora demonstrava crescimento e desenvolvimento econômico, como uma forma de combinação entre ciência e tecnologia, atualmente, passou a ser motivo de reprovação pela sociedade. A demonstração de maior preocupação com as questões ambientais é evidente, visto que, os resultados desta prática são positivos (WAHEED et al., 2020).

Neste contexto, nota-se que as organizações não estão apenas experienciando as exigências da legislação que impõe seu rigor, mas estão, também, observando uma mudança de comportamento por parte da sociedade, a qual tem demonstrado, ainda que de forma incipiente, certa demanda por produtos ecologicamente corretos. Tal demanda, acaba por impor uma maior responsabilidade das organizações em relação ao impacto das suas atividades no meio ambiente (BARBIERI, 2016).

As práticas de Manufatura Verde podem contribuir positivamente para desenvolver produtos que gerem pouco ou nenhum impacto ambiental. Usualmente, os produtos considerados verdes ou ecológicos podem ser produzidos a partir de resíduos reciclados e/ou fabricados com métodos mais eficientes, no que tange ao consumo de recursos naturais, humanos e fontes não renováveis (DEIF, 2011; TSAI; LAI, 2018).

O termo Manufatura Verde também é associado a tecnologias de energia sustentável como fotovoltaicas, turbinas eólicas, biorreatores e biofiltração. Objetivando reduzir a entrada de fontes não renováveis, e reduzir a saída de efluentes no processo produtivo industrial, incentiva-se o reaproveitamento para, por exemplo, transformar em subprodutos ao invés de dispor ao meio ambiente de maneira incorreta. Conforme sugerem Bossle et al. (2016) a Manufatura Verde propõe reduzir de forma significativa o esforço pós-produção, para mitigar ou anular os impactos ambientais. Os referidos autores relacionam a Manufatura Verde à

capacidade de construir um sistema de produção capaz de reduzir os outputs indesejados, como resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos.

As práticas de manufatura verde buscam, em suma, retardar o esgotamento de recursos naturais, que são consumidos de forma incorreta por parte das indústrias. Neste sentido, Rehman, Seth e Shrivastava (2016) enfatizam práticas como racionalização de peças, reutilização de componentes. Os autores relatam ênfase nos 6Rs: reduzir, reutilizar, reciclar, recuperar, redesenhar e remanufaturar. No entanto, as práticas não se restringem a essas questões, incluem também o gerenciamento adequado de resíduos, práticas voltadas à proteção ambiental, conformidade regulatória e outros aspectos associados (SCHREIBER, 2023).

Como justificativa à adoção de práticas de Manufatura Verde, Schreiber (2023) aponta 3 aspectos principais: (1) eficiência ecológica, (2) participação de mercado e (3) adequação às normas e diretrizes governamentais e ressalta a relevância de desenvolver um produto de forma mais eficiente, que consuma menos recursos ou energia. Corroborando o exposto, produzir com menos desperdícios, além de ser ecológico, é economicamente atrativo. Waheed et al. (2020) associa a adoção de práticas verdes a ganhos de vantagem competitiva, contribui também para a imagem verde da empresa. A priori, o investimento em iniciativas de Manufatura Verde se reverterá em economia como resultado de um sistema mais eficiente.

Para tornar um processo de Manufatura Verde, Toke e Kalpande (2019) descrevem alguns princípios como elementos determinantes para obtenção de um resultado efetivamente verde. Dentre os aspectos elucidados, destacam-se: a atuação e engajamento da alta gerência, o engajamento e treinamento dos colaboradores da organização, o gerenciamento e estabelecimento de critérios de homologação de fornecedores e o gerenciamento adequado de informações.

Para Rehman, Seth e Shrivastava (2016) e Schreiber (2023) os principais impulsionadores da Manufatura Verde são: comprometimento da alta administração, processos verdes, design, compras/marketing, embalagem, transporte, logística reversa, envolvimento total dos funcionários, gestão de fornecedores, opinião pública, valor para os acionistas, redução de custos, legislação atual e futura, pressão dos pares, economia de custos, competitividade, demanda do cliente, pressão da cadeia de suprimentos.

Além dos fatores ressaltados, Toke e Kalpande (2019) complementam que a lógica do pensar verde deve ser inserida no planejamento, tanto da produção quanto na política de compras de insumos. Da mesma forma que se deve pensar na adoção de fontes de energias limpas e renováveis, adoção de indicadores para controle e monitoramento de energia, águas residuais, emissões atmosféricas e resíduos sólidos.

Cabe destacar que o impacto das práticas e iniciativas verdes varia de acordo com o setor. Neste sentido, Rehman, Seth e Shrivastava (2016) relatam que tais práticas contribuem com resultados positivos tanto em desempenho financeiro quanto ambiental. Busca-se com a Manufatura Verde maximizar a eficiência de materiais e energia, criar valor a partir de resíduos, transição para processos renováveis, entregar funcionalidade em vez de propriedade e adotar uma função de administração (BOCKEN et al., 2014, REHMAN; SETH; SHRIVASTAVA, 2016).

Os princípios de Manufatura Verde podem contribuir com um cuidado global para com o meio ambiente, visto que os relatórios ambientais evidenciam um consumo demasiado de recursos naturais (SCHREIBER, 2023). Neste sentido, Wang et al. (2016) evidenciam dois aspectos sobre a insustentabilidade do paradigma industrial atual. Como primeiro aspecto, os autores expõem os níveis de impacto da produção industrial no meio ambiente, fato que contribui severamente com o aquecimento global e o aumento da poluição ambiental.

3. Indústria 4.0

Na última década do século passado inicia-se a Quarta Revolução Industrial, onde a conectividade é que ganha notoriedade (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Surgem novas tecnologias que convergem com tecnologias já existentes e, neste contexto, emerge a chamada Indústria 4.0. Fábricas inteligentes, internet das coisas, sistemas físicos cibernéticos, computação em nuvem, dentre outras, são tecnologias que convergem e fundem o mundo físico, digital e biológico.

O referido termo Indústria 4.0, surgiu em 2011 na feira de Hannover na Alemanha e, em sua concepção, objetiva facilitar a adoção de práticas de manufatura inteligente, com a otimização do uso de recursos alocados na produção, a redução de desperdícios de insumos ao longo do processo, a redução de tempos médios de execução de atividades, a maior autonomia no gerenciamento de processos, bem como a previsibilidade de falhas de máquinas e adaptabilidade do arranjo produtivo frente às oscilações de demanda. A Indústria 4.0 compreende mecanismos para atuação em um mercado dinâmico, global e configurável (ZHONG et al., 2017).

A integração de fluxos de trabalho de tecnologias avançadas aos processos de manufatura tradicionalmente estabelecidos, gera expectativa no desenvolvimento da indústria que se forma nos parâmetros da Indústria 4.0. Para Nascimento et al. (2018) tal integração ocorre a partir da incorporação de tecnologias como Internet das Coisas, Big Data, realidade aumentada, cibersegurança, manufatura aditiva (impressão 3D), computação em nuvem, simulação, dentre outras tecnologias.

Lu (2017) complementa que a Indústria 4.0 tem como objetivo aumentar os níveis de eficiência e produtividade operacional, por meio da associação de recursos como: digitalização de processos; automação e adaptação; interação homem-máquina; serviços e negócios de valor agregado e comunicação automáticas de dados. Nascimento et al. (2018) afirmam que tais tecnologias possibilitam maior eficiência operacional, bem como melhor controle de dados para tomada de decisões. A interoperabilidade entre tecnologias é que faculta um maior ganho de produtividade, permitindo maximizar o compartilhamento de dados para a gestão de ponta a ponta.

A Indústria 4.0 desponta como um modelo relativo à produção de pequenos lotes, individualizados, personalizados conforme a necessidade do consumidor (SCHREIBER, 2023). Ao comparar um modelo de produção da indústria tradicional com uma indústria nos moldes da Indústria 4.0, evidencia-se que o fato da indústria produzir seguindo a lógica proposta pela Indústria 4.0 (lotes personalizados) não indica necessariamente que a atividade não manterá a condição econômica próspera, atrelada à produção em massa.

Conforme Lasi et al. (2014), as mudanças necessárias para a implementação da Indústria 4.0 são, em geral, orientadas pela tecnologia da informação, como: ciclos de desenvolvimento menores, produção em lote único, em um cenário onde a produção é puxada e não empurrada (OLHAGER; OSTLUND, 1990), maior flexibilidade no processo de desenvolvimento. A descentralização de hierarquia em determinados casos pode ser requerida, a fim de tornar mais ágil o processo de tomada de decisões.

Oztemel e Gursev (2020) descrevem os efeitos sociais facultados pela inserção de tecnologias pertencentes à Indústria 4.0 no ambiente industrial, principalmente de manufatura. Neste sentido, a discussão concentra-se em compreender de que forma as tecnologias influenciam o ambiente de trabalho, desencadeando um processo contínuo de transformação para que as pessoas envolvidas no ambiente operacional possam acompanhar e se adaptar às referidas mudanças atribuídas (SCHREIBER, 2023).

Nascimento et al. (2018) defendem que as tecnologias de sistemas de produção inteligentes podem aumentar a produtividade e a liberdade de fabricação sob demanda,

facultando a aplicação de conceitos just in time para sustentar a produção contínua. Para atingir níveis eficientes do modelo elucidado, entende-se que a gestão desempenha um papel essencial na integração dos conceitos de Indústria 4.0 e manufatura sustentável, conforme ressaltam Bag et al. (2021).

Os sistemas de produção se beneficiam com a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, que podem contribuir com o desenvolvimento de novos produtos ou serviços, consumindo menos recursos. No entanto, para facultar os referidos ganhos em eficiência, faz-se necessário a flexibilização de layouts, por exemplo, bem como o desenvolvimento de competências dos colaboradores que irão atuar diretamente com as tecnologias (BAG et al., 2021).

A Indústria 4.0 está diretamente relacionada à: internet das coisas, sistemas físicos cibernéticos, tecnologias e segurança da informação, realidade aumentada, Big Data, robôs autônomos, manufatura aditiva (impressão 3D), simulação, e computação em nuvem. Neste contexto, Zhong et al. (2017) conceituam a manufatura inteligente como um modelo operacional que visa otimizar a produção, baseando-se em ciência e tecnologia para melhoria de design de produto, processo de desenvolvimento, bem como integrar todo o ciclo de vida de um determinado produto.

4. Método

Para esta pesquisa optaram pela estratégia de estudo de caso único, por entender que oferecia melhores condições para o alcance do objetivo de analisar o processo de adoção das tecnologias da indústria 4.0 e seus potenciais benefícios ambientais. Pelo motivo similar, de alinhamento metodológico, optou-se pela abordagem qualitativa e coleta de dados empíricos por meio de duas entrevistas em profundidade (Diretor industrial e Gerente de PCP), observação sistemática participante (um dos autores ocupa o cargo de Gerente de Operações na empresa) e levantamento documental. As referidas escolhas metodológicas encontram respaldo em Yin (2015), Marconi e Lakatos (2017) e Demo (2022).

A ALFA é uma indústria de injetados termoplásticos e já está inserida no mercado calçadista a mais de 35 anos, desde então, atua na cidade de Novo Hamburgo-RS. A ALFA produz solados em TR, TPU, PVC e PVC Expandido em área total de 3500 m², com área construída de 1500 m² e capacidade produtiva de 40.000 pares de solado/dia na linha de injeção rotativa e 10.000 itens/dia na linha injeção convencional. O Fluxo produtivo da unidade engloba as seguintes etapas: pesagem, mistura, injeção dividido entre linha convencional e rotativa, controle e qualidade e expedição. Como apoio para produção destaca-se o setor de moagem para reprocessamento de refugos de processo e o setor de pigmentação (ajuste de cor). O parque fabril é composto: (i) Linha da mistura: composto por três betoneiras com capacidade de 500 kg, 04 silos de secagem e armazenamento; (ii) Linha de injeção está dividida entre a linha rotativa, composta por doze injetoras plásticas, sendo duas com 12 postos e oito com 8 postos, e linha convencional seis injetoras convencionais de 120 t. Atualmente o quadro funcional é composto por 120 colaboradores.

A coleta de dados ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2024. As entrevistas foram gravadas em áudio e transcritas no prazo máximo de dois dias. O diário de campo foi utilizado na coleta de dados por meio de observação sistemática participante e levantamento documental. Os referidos procedimentos técnicos seguiram as indicações de autores como Marconi e Lakatos (2017) e Demo (2022). Vale destacar que a escolha dos entrevistados foi intencional, utilizando como critério o perfil dos mesmos, visando assegurar a legitimidade dos interlocutores para opinar sobre o tema pesquisado. Para manter em sigilo tanto os entrevistados como observador participante, foram adotados códigos para a sua identificação. Os entrevistados foram identificados por E1 e E2 e o observador participante como E3. E1 ocupa

cargo de Diretor, tem 32 anos, atua 10 anos na empresa, tem formação em Administração e é responsável pela gestão. E2 tem cargo de Gerente de PCP, tem 45 anos, está 18 meses na empresa, tem formação em Gestão da Produção. E3 é Gerente de Operações, tem 55 anos, está dois anos na empresa e sua formação é em Gestão da Produção.

Os dados empíricos coletados, em formato de textos transcritos de entrevistas e anotações em diário de campo, foram submetidos à análise de conteúdo, seguindo as etapas indicadas pela Bardin (2016). As etapas compreenderam (i) pré-análise (leitura do material coletado, seleção de textos alinhados com o objetivo da pesquisa), (ii) exploração do material (codificação, categorização e enumeração) e (iii) tratamento dos dados empíricos por meio de inferência e interpretação (atribuição de significado relacionando com as categorias analíticas).

5. Análise e discussão de resultados

Atualmente o modelo de negócios da empresa é orientado, majoritariamente, para a prestação de serviços de injeção de termoplásticos, que gera aproximadamente 75% do total da receita total. Os restantes 25% da receita são oriundos de produção própria da empresa. Os insumos fornecidos em regime de subcontratação são importados e os utilizados na produção para o mercado nacional, são adquiridos no mercado interno. São consumidos aproximadamente 250.000 Kg de matéria prima: Composto de PVC expandido, Composto de PVC, Composto Master, Composto de TR, Composto de TPU, Pigmentos e Desmoldantes.

Vale destacar que o processo termoplástico permite a reutilização da matéria prima, gerada pelo refugo de produção. O material a ser reprocessado está dividido em: Canais (material conduzido ao molde) e a sola propriamente dita por defeitos de qualidade, cor e ou dimensionais. Este material é moído e acrescentado na formulação como carga. O processo da fabricação da ALFA não gera nenhum tipo de contaminação de efluentes líquidos e, tampouco, não há emissões atmosféricas nocivas, dispensando, portanto, filtragem de gases. No entanto, para sólidos suspensos é feita de filtragem de com filtros de pano, recolhendo-se 100 kg mensais e encaminhadas para empresa de fornecimento de pigmentos para reprocessamento.

Já em relação a geração de resíduos sólidos: (i) composto termoplásticos Clientes – 3 ton. mês – devolvidos ao Fornecedor para reprocessando e ou descarte; (ii) composto termoplástico fabricação própria – 250 kg mês, reprocessado junto aos fornecedores; (iii) Papelão/embalagens papel – 1 ton. Mês, destinados a reciclagem por empresa de credenciadas; (iv) embalagens plásticas – usado logística reversa para estes insumos.

A empresa opera em um segmento da economia que se caracteriza pela acirrada competição entre os agentes econômicos. Conforme já evidenciou Schreiber (2023), para se manter no mercado e competitiva, as empresas precisam constantemente revisar seus processos operacionais, investir na modernização de máquinas e equipamentos, incorporação de novas tecnologias, bem como a capacitação de pessoas.

Desta forma, o investimento em tecnologias da indústria 4.0 é considerado estratégico e foi introduzido no planejamento da empresa já desde o ano 2016. No entanto, devido às restrições orçamentárias os investimentos ocorrem de forma específica, pontual e num horizonte temporal ampliado. Se trata de um processo complexo, que precisa ser muito bem planejado, com mínima margem para erro na sua operacionalização/ execução. Wang et al. (2016) também constataram essa necessidade no seu estudo.

E1 explicou que o segmento de injeção termoplástica, mais especificamente na parte de solados para calçados, tornou-se muito competitivo. Portanto: “Investir em novas tecnologias nos possibilita buscar diferenciação no mercado, através dela tornar a operação mais eficiente e produtiva, destacando-se por meio da qualificação.” Já E2 afirmou que a motivação foi a

busca por maior eficiência fabril através de tecnologias que permitissem o tratamento de dados e análise em tempo real a fim de manter a competitividade com o mercado e assim garantindo a saúde financeira da empresa. E3 destacou: “As ferramentas tecnológicas através de informações ágeis permitem um diferencial competitivo de atuação, visando assim a satisfação dos Stakeholders da cadeia ...”. O quadro motivacional, subjacente ao processo decisório que culminou com a incorporação da estratégia de modernização do parque fabril no planejamento da empresa, está alinhado com os estudos de Schreiber (2023), Zhong (2017) e Tsai (2018).

A literatura científica que versa sobre o tema de investimento em novas tecnologias, notadamente em tecnologias da indústria 4.0, no ambiente industrial, em diversos setores econômicos, destaca a relevância da expectativa de benefícios decorrentes do referido investimento (BAG, et al., 2021; KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Por esse motivo este aspecto também foi incluído nesta pesquisa. E1 ressaltou a expectativa pela melhor eficiência nos processos, aumento de produtividade, informação de qualidade em tempo real e agilidade na tomada de decisão. Já E2 comentou que dentre os benefícios esperava-se obter a agilidade na tomada de decisões, a otimização dos recursos como M.O e redução de perdas. E3 ressaltou que os benefícios esperados incluem os ganhos econômicos, ganhos de confiabilidade com clientes, melhorias no ambiente fabril e clima entre os colaboradores pela assertividade de processo.

Como já foi destacado, a indústria ALFA tem orçamento restrito e, portanto, precisa avaliar com propriedade quais processos e setores da empresa serão contemplados com os investimentos previstos. Esta realidade também foi identificada na revisão da literatura sobre o tema, evidenciando que mesmo as organizações de maior porte e com orçamento maior, precisam planejar com cuidado a adoção das tecnologias da indústria 4.0 (SCHREIBER, 2023; NASCIMENTO et al, 2018). Na ALFA, segundo E1, foi eleita como prioridade a coleta de dados em tempo real dos recursos produtivos no setor produtivo. E3 expressou a percepção alinhada, de que a relevância está na coleta de dados em tempo real no ambiente de produção. E2 corroborou ao explicar que:

“... um sistema SGQ para fins de aferição de qualidade dando nos informações do percentual atual de inconformidades por equipamentos e revisoras e um sistema de controle de OEE que iniciamos o projeto em Excel e após a compreensão de sua aplicação estamos investindo na construção de um sistema on LINE com o PREVIEW do resultado em tempo real com possibilidade de tomada de ação imediata minimizando assim os impactos de perdas. Esse sistema contrata com ferramentas Andon em casa equipamento com seu resultado individual e com dashboard gerenciais para monitoramento”.

Os critérios que nortearam a escolha de processos e setores organizacionais para a adoção de tecnologias da indústria 4.0 variam de acordo com a atividade econômica e o contexto de mercado, no qual cada organização opera. A literatura sobre o tema evidencia a referida diversidade (OZTEMEL; GURSEV, 2020), bem como evidencia a necessidade de preparar o ambiente da empresa para a adoção de novas tecnologias (LU, 2017). Se trata de revisão de processos, de rotinas, de práticas, treinamento e capacitação de pessoas, revisão do lay-out, integração de sistemas de TI, só para citar algumas das ações que compreendem a referida preparação. Na ALFA, segundo E1 o primeiro passo consistiu em promover a conscientização das lideranças, após, a revisão de processos existentes, propostas de melhorias, implementação, acompanhamento, coletas e validações de dados e a integração com o ERP. E2 ressaltou, também, o desenvolvimento de sistemas, colocado em análise piloto de aplicação e após aferição e uso, apresentado a toda liderança seu uso, importância e resultados quando aplicado. E3 acrescentou que a priorização está na conscientização da liderança quanto ao uso das informações para atingir os resultados desejados.

Direcionando a investigação científica em relação ao tipo de benefícios ambientais/sustentáveis, a adoção de tecnologias da indústria 4.0 que foram gerados, aspecto central da pesquisa e destacado na revisão teórica, E1 comentou:

“Com o uso da tecnologia no levantamento de dados foi/está sendo possível mensurar o índice de desperdício e reaproveitamento de resíduos do processo produtivo. Com essa prática está sendo possível reutilizar materiais que anteriormente poderiam ser contaminados e descartados, acarretando em custos extras. Dessa forma, a sustentabilidade no processo faz com que nos tornemos mais competitivos e ajudemos o meio ambiente.”

Já E3 observou que os resultados preliminares obtidos pelo uso da ferramentas da indústria 4,0 e difusão das informações de forma ágil já remetem à redução do impacto ambiental, pela redução dos níveis de rejeitos, melhor utilização dos recursos produtivos (mão obra, energia, insumos)..... E2 foi mais específico e ressaltou que com o SGQ (Sistema de gestão da qualidade) é facultado obter a redução dos níveis de rejeitos, menos resíduos se geram, contribuindo assim para a manutenção do uso sustentável de nossos recursos e com OEE (Overall Equipment Effectiveness) se consegue melhor resultado, com menos poluição por uso de produtos aerossóis como desmoldante, lubrificantes entre outros. Na percepção dele a incorporação das tecnologias da indústria 4.0 potencializará a geração dos benefícios citados pelo SGQ e OEE. Esta percepção está alinhada com a revisão teórica sobre benefícios ambientais potenciais em processos industriais, em diversas atividades econômicas (WAHEED, A. et al, 2020; TOKE; KALPANDE, 2019; STOCK; SELIGER, 2016).

Ao final da coleta de dados empíricos solicitou-se a sugestão de ranking de benefícios gerados a partir da adoção das tecnologias da indústria 4.0. Para E1 em primeiro lugar está Informação de alta qualidade, depois Agilidade na tomada de decisão, Aumento da produtividade, Segurança e agilidade e, por fim, a redução de custos por perdas e paradas. Para E2: “... Os principais benefícios que são: a manutenção da saúde de nossa empresa, bem como o aumento da eficiência do uso dos recursos e no desenvolvimento de produtos em larga escala nos tornado um país mais competitivo a nível global “. E3 acrescenta que resolução traçada pelo planejamento estratégico da empresa e a opção por agregar o uso de tecnologias da indústria 4.0, estão atingindo os benefícios propostos, que incluem um ganho competitivo, a redução do impacto ambiental a agilidade na tomada das decisões, contribuindo, de forma impactante para o desempenho econômico da empresa.

6. Considerações Finais

O recrudescimento da legislação ambiental pressiona as indústrias a promover alterações em seus processos produtivos e se adequar às normas legais, que visam preservar o meio ambiente. As indústrias de injetados termoplásticos se caracterizam por utilizar insumos que podem representar impacto ambiental negativo, se não atenderem os dispositivos legais concernentes à referida atividade econômica.

Nessa perspectiva, as tecnologias da indústria 4.0 podem oferecer um importante repertório de alternativas para conciliar a pressão da sociedade e dos atores governamentais, encarregados de fiscalizar o cumprimento de leis e normas ambientais, com as exigências do mercado, para se manter competitivo, oferecendo melhores produtos/ serviços, com custos reduzidos. A pesquisa, por meio de estratégia de estudo de caso único, de uma indústria de injetados termoplásticos, localizada da região sul do país, de médio porte, evidenciou o processo de adoção de algumas das tecnologias da indústria 4.0 e sua contribuição para a manufatura mais sustentável.

Dentre os resultados destacaram-se os motivos que induziram a empresa a realizar os investimentos em novas tecnologias, os benefícios esperados, identificação de processos/setores organizacionais que foram priorizados com o referido investimento, A preparação prévia que a empresa realizou para potencializar os benefícios advindos destas tecnologias, bem como o processo de monitoramento dos resultados decorrentes da adoção das novas tecnologias e os impactos ambientais positivos a partir da implantação das referidas tecnologias.

Como limitação da pesquisa pode se mencionar a opção pelo estudo de caso único, o que dificulta a generalização dos resultados do estudo. Por esse motivo, como sugestão de estudos futuros recomenda-se realizar pesquisa com mais empresas e outros desenhos metodológicos, como abordagem quantitativa, por exemplo.

Referências

BAG, S. et al. Key Resources for Industry 4.0 Adoption and its Effect on Sustainable Production and Circular Economy: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 125233, 2021.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos**. 4^a. Edição. São Paulo: Saraiva, 2016.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo, SP: Edições 70, 2016. 279 p. ISBN 9788562938047.

BOCKEN, N. M. P. et al. A Literature and Practice Review to Develop Sustainable Business Model Archetypes. **Journal of cleaner production**, v. 65, p. 42-56, 2014.

BOSSLE, M. B. et al. The Drivers for Adoption of Eco-innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 861-872, 2016.

DEIF, A. M. A System Model for Green Manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 14, p. 1553-1559, 2011.

DEMO, Pedro. **Avaliação qualitativa**. 1. ed. Campinas: Autores Associados, 2022. 1 recurso online. ISBN 9786588717691.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Frankfurt, 2013.

LASI, H. et al. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LU, Y. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo, SP: Atlas, c2017. xx, 346 p. ISBN 9788597010121.

NASCIMENTO, D. L. M. et al. Exploring Industry 4.0 Technologies to Enable Circular Economy Practices in a Manufacturing Context: A Business Model Proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 30, n. 3, p. 607-627, 2018.

OLHAGER, Jan; ÖSTLUND, Björn. An Integrated Push-Pull Manufacturing Strategy. **European Journal of Operational Research**, v. 45, n. 2-3, p. 135-142, 1990.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature Review of Industry 4.0 and Related Technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

REHMAN, M. A.; SETH, D.; SHRIVASTAVA, R. L. Impact of Green Manufacturing Practices on Organisational Performance in Indian Context: An Empirical Study. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 427-448, 2016.

SCHREIBER, D. Technologies of Industry 4.0 to Foster Green Manufacturing in Footwear Production in Brazil. **International Journal of Business Innovation and Research (Print)**, v. 1, p. 1-21, 2023.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 40, p. 536-541, 2016.

TOKE, L. K.; KALPANDE, S. D. Critical Success Factors of Green Manufacturing for Achieving Sustainability in Indian Context. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 12, n. 6, p. 415-422, 2019.

TSAI, W. Green Production Planning and Control for the Textile Industry by Using Mathematical Programming and Industry 4.0 Techniques. **Energies**, v. 11, n. 8, p. 2072, 2018.

WAHEED, A. et al. Impact of Green Manufacturing on Consumer Ecological Behavior: Stakeholder Engagement Through Green Production and Innovation. **Sustainable Development**, v. 28, n. 5, p. 1395-1403, 2020.

WANG, S. et al. Towards Smart Factory for Industry 4.0: A Self-organized Multi-agent System with Big Data Based Feedback And Coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158-168, 2016.

YIN, Robert. **Estudo de Caso. 5**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2015. recurso on-line. ISBN 9788582602324.

ZHONG, R. Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.