



# ConBRepro

XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

03 a 05 de dezembro de 2025

## As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

### Sustentabilidade e transformação digital em PMEs

Maison Luiz Grande

**Resumo:** A sociedade contemporânea tem sido marcada pela necessidade de conciliar desenvolvimento econômico com responsabilidade socioambiental, ao mesmo tempo em que enfrenta rápidas mudanças impulsionadas pela transformação digital. Nesse contexto, as pequenas e médias empresas (PMEs) ocupam posição estratégica, por representarem significativa parcela do tecido produtivo e pela relevância de seu papel econômico e social. No entanto, sua limitação de recursos financeiros, tecnológicos e humanos constitui um desafio para integrar, de forma efetiva, sustentabilidade e digitalização em seus processos e modelos de gestão. O presente artigo tem como objetivo geral analisar a interface entre sustentabilidade e transformação digital em PMEs, destacando os principais desafios e oportunidades dessa integração, além das implicações para a engenharia de produção. Especificamente, busca-se: compreender como ferramentas digitais podem apoiar práticas sustentáveis, contribuindo para eficiência energética, rastreabilidade e redução de desperdícios; examinar de que modo a economia circular e as novas formas de relacionamento com clientes e fornecedores podem ser potencializadas pela digitalização; e identificar como a engenharia de produção pode atuar como mediadora estratégica desse processo, por meio de metodologias e abordagens sistêmicas que favoreçam a implementação de soluções integradas. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa qualitativa, exploratória e de natureza bibliográfica, fundamentada em produções científicas, relatórios institucionais, legislações e estudos de caso publicados nos últimos dez anos. O artigo organiza-se em quatro seções, abordando a fundamentação teórica, o papel das PMEs, a integração entre sustentabilidade e transformação digital e, por fim, a contribuição da engenharia de produção. Os resultados visam oferecer subsídios teóricos e práticos que apoiem gestores e pesquisadores na construção de processos mais inovadores, eficientes e responsáveis.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Inovação, Transformação.

### Sustainability and Digital Transformation in SMEs

**Abstract:** Contemporary society has been marked by the need to reconcile economic development with socio-environmental responsibility, while simultaneously facing rapid changes driven by digital transformation. In this context, small and medium-sized enterprises (SMEs) play a strategic role, as they represent a significant share of the productive sector and hold considerable economic and social importance. However, their limited financial, technological, and human resources pose a challenge to effectively integrating sustainability and digitalization into their processes and business models. This article has the general objective of analyzing the interface between sustainability and digital transformation in SMEs, highlighting the main challenges and opportunities of this integration, as well as its implications for production engineering. Specifically, it aims to: understand how digital tools can support sustainable practices, contributing to energy efficiency, supply chain traceability, and waste reduction; examine how circular economy practices and new forms of interaction with customers and suppliers can be enhanced through digitalization; and identify how production engineering can act as a strategic mediator in this process, offering methodologies and systemic approaches that foster the implementation of integrated solutions. Methodologically, this research is

qualitative, exploratory, and bibliographic in nature, based on scientific publications, institutional reports, legislation, and case studies published in the last ten years. The article is organized into four sections, addressing the theoretical framework, the role of SMEs, the integration between sustainability and digital transformation, and finally, the contribution of production engineering. The results aim to provide both theoretical and practical insights to support managers and researchers in building more innovative, efficient, and responsible processes.

**Keywords:** Sustainability, Innovation, Transformation.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, a sociedade vem passando por profundas transformações motivadas por dois fenômenos que se destacam no cenário contemporâneo: a crescente demanda por práticas sustentáveis e o avanço acelerado das tecnologias digitais. A busca por modelos de desenvolvimento capazes de conciliar crescimento econômico, responsabilidade ambiental e inclusão social tornou-se um dos maiores desafios globais, sobretudo em um contexto marcado pelas mudanças climáticas, pela escassez de recursos naturais e pela necessidade de repensar padrões de consumo e produção. Ao mesmo tempo, a chamada transformação digital emerge como um vetor de inovação e competitividade, trazendo novas possibilidades para empresas de todos os portes, que passam a adotar soluções baseadas em big data, inteligência artificial, internet das coisas (IoT) e automação.

Nesse cenário, as pequenas e médias empresas (PMEs) ocupam um lugar central. Elas representam grande parte do tecido produtivo no Brasil e no mundo, sendo responsáveis por gerar empregos, movimentar cadeias de suprimentos locais e contribuir significativamente para o PIB. No entanto, as PMEs enfrentam desafios específicos para incorporar a sustentabilidade e a transformação digital em seus modelos de negócio. Frequentemente, a limitação de recursos financeiros, tecnológicos e humanos dificulta a adoção de práticas inovadoras que aliem eficiência operacional, digitalização de processos e responsabilidade socioambiental. Essa realidade torna o estudo da relação entre sustentabilidade e transformação digital em PMEs um campo relevante para a engenharia de produção, disciplina voltada a propor soluções que otimizem processos, reduzam desperdícios e aumentem a competitividade organizacional.

Ao afunilar a discussão para o escopo específico deste estudo, observa-se que, embora haja crescente interesse acadêmico e empresarial na integração entre sustentabilidade e transformação digital, ainda existem lacunas quanto à compreensão de como esses dois eixos se articulam de forma prática em pequenas e médias empresas. O problema que orienta esta investigação pode ser assim formulado: como as PMEs podem integrar estratégias de sustentabilidade em seus processos produtivos e modelos de gestão a partir das oportunidades oferecidas pela transformação digital, superando limitações de recursos e aumentando sua competitividade?

O presente artigo tem como objetivo geral analisar a interface entre sustentabilidade e transformação digital em PMEs, discutindo os principais desafios e oportunidades dessa integração, bem como as implicações para a engenharia de produção. A partir desse propósito mais amplo, três objetivos específicos orientam a investigação. O primeiro é compreender de que forma as ferramentas digitais podem apoiar práticas sustentáveis no ambiente produtivo, contribuindo para ganhos de eficiência energética, rastreabilidade das cadeias de suprimentos e redução de desperdícios. O segundo é examinar como a incorporação da economia circular e de novas formas de relacionamento com clientes e fornecedores pode ser potencializada pela digitalização, favorecendo modelos de negócio

mais inovadores e responsáveis. O terceiro é identificar de que maneira a engenharia de produção pode atuar como mediadora estratégica desse processo, oferecendo metodologias, ferramentas e abordagens sistêmicas que permitam às pequenas e médias empresas superar limitações de recursos e implementar soluções integradas. Dessa forma, pretende-se construir uma análise que vá além da descrição das dificuldades, fornecendo subsídios práticos e teóricos para orientar tanto gestores quanto profissionais da área na busca por maior competitividade e sustentabilidade organizacional.

A justificativa para a realização deste estudo repousa na relevância social, econômica e acadêmica do tema. Socialmente, a promoção da sustentabilidade em PMEs contribui para a construção de modelos produtivos mais responsáveis. Economicamente, a integração entre digitalização e sustentabilidade pode impulsionar a competitividade das PMEs, garantindo sua permanência em mercados cada vez mais exigentes. Do ponto de vista acadêmico, este trabalho busca preencher lacunas de investigação, oferecendo subsídios para pesquisas futuras e aplicações práticas em engenharia de produção.

Em termos metodológicos, este artigo se fundamenta em uma abordagem qualitativa e exploratória, com base em revisão bibliográfica e documental. Foram consultadas produções acadêmicas recentes, relatórios de organismos internacionais, legislações e estudos de caso sobre iniciativas de transformação digital e sustentabilidade em PMEs. A análise desses materiais permitiu identificar tendências, desafios recorrentes e boas práticas que podem servir de referência para gestores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas.

A estrutura deste trabalho foi organizada em quatro seções principais, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção apresenta a fundamentação teórica sobre sustentabilidade e transformação digital, destacando conceitos, marcos regulatórios e perspectivas da engenharia de produção frente a esses desafios. A segunda seção discute o papel das PMEs na economia e as particularidades que impactam a adoção de práticas digitais e sustentáveis nesse segmento, com ênfase em suas limitações e potencialidades. Na sequência analisa a integração entre transformação digital e sustentabilidade, trazendo exemplos práticos, estudos de caso e possíveis modelos de aplicação. Por fim propõe reflexões sobre como a engenharia de produção pode contribuir para viabilizar essa integração, sugerindo caminhos metodológicos, tecnológicos e gerenciais.

Assim, espera-se que este artigo contribua para ampliar a compreensão sobre a inter-relação entre sustentabilidade e transformação digital em PMEs, oferecendo não apenas uma análise crítica, mas também subsídios práticos que possam orientar gestores e profissionais da engenharia de produção na busca por processos mais inovadores, eficientes e responsáveis.

## **2. Metodologia**

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza básica e qualitativa, voltada para a análise de estudos que discutem a interface entre sustentabilidade e transformação digital em pequenas e médias empresas (PMEs). A escolha por esse delineamento metodológico justifica-se pela necessidade de sistematizar e interpretar criticamente o conhecimento produzido nos últimos dez anos, período marcado por avanços significativos nas tecnologias digitais e por maior pressão para a adoção de práticas sustentáveis no ambiente empresarial. A revisão qualitativa permite compreender não apenas o que foi publicado, mas também como os conceitos são abordados, de modo a identificar tendências, desafios e oportunidades no campo da engenharia de produção.

Essa opção metodológica se alinha ao caráter exploratório do estudo, uma vez que busca mapear, organizar e interpretar a produção científica existente sem a intenção de testar hipóteses quantitativas.

Para a seleção do material a ser analisado, estabeleceu-se como critério a busca por publicações que apresentassem relevância direta ao tema a partir da análise de palavras-chave. Foram consideradas cinco expressões-chave centrais: sustentabilidade empresarial, transformação digital, pequenas e médias empresas (PMEs), engenharia de produção e inovação sustentável. Essas expressões foram definidas de modo a captar tanto a dimensão tecnológica quanto a dimensão socioambiental do objeto de estudo, garantindo a convergência com a problemática proposta. As buscas foram realizadas em bases de dados acadêmicas reconhecidas, tais como Scielo, Google Scholar e Periódicos CAPES, além de bibliotecas virtuais de instituições de ensino e pesquisa de prestígio. A adoção desse procedimento visou assegurar a representatividade e a confiabilidade das fontes, uma vez que tais plataformas concentram produções científicas avaliadas por pares e relatórios técnicos relevantes.

Após a coleta inicial, os estudos foram submetidos a uma etapa de filtragem, na qual foram considerados apenas trabalhos publicados entre 2014 e 2024, respeitando o recorte temporal previamente definido. Essa delimitação buscou contemplar o período mais recente, em que os debates sobre transformação digital ganharam destaque na literatura e se intensificaram os esforços por parte das empresas em alinhar práticas sustentáveis às exigências do mercado e da sociedade. Foram priorizados artigos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos que apresentassem aplicabilidade ao campo da engenharia de produção e ao contexto das PMEs. O material selecionado foi analisado de maneira qualitativa, a partir da leitura interpretativa e comparativa dos conteúdos, buscando identificar convergências, divergências e lacunas. Essa sistematização permitiu elaborar uma síntese crítica que fundamenta a discussão apresentada nas seções subsequentes do artigo.

### **3. Sustentabilidade e Transformação Digital: fundamentos teóricos e perspectivas na Engenharia de Produção**

A sustentabilidade e a transformação digital configuram-se como dois dos principais eixos de mudança que marcam o cenário produtivo contemporâneo. Enquanto a primeira está associada à necessidade de repensar práticas empresariais diante das crescentes demandas socioambientais, a segunda relaciona-se à incorporação de tecnologias digitais capazes de revolucionar processos e modelos de negócios. Na engenharia de produção, esses fenômenos não aparecem de forma isolada, mas como dimensões complementares que precisam ser analisadas em conjunto para construir organizações mais eficientes, inovadoras e responsáveis (BORGES, 2021).

Do ponto de vista teórico, ainda segundo Borges (2021) a sustentabilidade pode ser entendida a partir da integração de três dimensões centrais: a econômica, a social e a ambiental. Esse tripé, amplamente difundido pela literatura, é essencial para compreender os desafios atuais da produção, já que uma organização sustentável não busca apenas o lucro, mas também o equilíbrio nas relações sociais e a preservação ambiental. Nesse sentido, a engenharia de produção tem papel estratégico ao propor metodologias para reduzir desperdícios, otimizar recursos e redesenhar processos em consonância com os princípios do desenvolvimento sustentável.

Roselino (2019) diz que a transformação digital, por sua vez, é caracterizada pela adoção de tecnologias emergentes, como inteligência artificial, big data, internet das coisas (IoT) e automação. Mais do que modernizar operações, essas ferramentas permitem gerar dados em tempo real, integrar sistemas produtivos e apoiar a tomada de decisão de forma mais ágil e precisa. A engenharia de produção, ao lidar com fluxos de informação e cadeias produtivas complexas, encontra na digitalização um recurso fundamental para alcançar maior eficiência e ampliar sua capacidade de inovação.

Quando analisados em conjunto, sustentabilidade e transformação digital apresentam sinergias que podem fortalecer a competitividade empresarial. Tecnologias digitais permitem, por exemplo, o monitoramento do consumo de energia, a rastreabilidade de insumos em cadeias de suprimentos e a redução de perdas por meio de sistemas inteligentes de gestão. Essas práticas não apenas contribuem para a diminuição dos impactos ambientais, como também reduzem custos e agregam valor aos produtos e serviços, criando diferenciais competitivos em mercados cada vez mais exigentes (ROSELINO, 2019).

No entanto, a literatura aponta que essa integração não ocorre de maneira simples. Muitas organizações, especialmente as pequenas e médias empresas, enfrentam barreiras como a falta de recursos financeiros, carência de profissionais qualificados e dificuldade em adaptar sua cultura organizacional às novas demandas. Tais obstáculos reforçam a importância da engenharia de produção como área capaz de desenvolver modelos adaptados à realidade das PMEs, conciliando práticas sustentáveis e inovações tecnológicas em escala compatível com suas condições (BORGES, 2021).

A teoria dos stakeholders contribui para ampliar a compreensão desse processo. Segundo essa abordagem, as empresas devem considerar os interesses de diferentes públicos — clientes, fornecedores, colaboradores, comunidade e meio ambiente — em suas estratégias. A transformação digital possibilita maior transparência e comunicação com esses atores, enquanto a sustentabilidade garante legitimidade e aceitação social. Na prática, a engenharia de produção pode oferecer instrumentos para alinhar esses interesses, traduzindo-os em indicadores de desempenho que orientem decisões empresariais (GUPTA, 2019).

Outro fundamento teórico relevante é o conceito de economia circular, que propõe a substituição do modelo linear de produção — baseado em extrair, produzir, consumir e descartar — por práticas que priorizem a reutilização, a reciclagem e a extensão do ciclo de vida dos produtos. A digitalização favorece a aplicação dessa lógica ao permitir rastrear materiais, identificar padrões de uso e promover modelos de negócio inovadores, como o consumo colaborativo. A engenharia de produção, nesse contexto, desempenha função essencial na reorganização de processos para viabilizar esse novo paradigma (ROSA, 2017).

Além disso, a integração entre sustentabilidade e transformação digital traz implicações significativas para a formação de engenheiros de produção. O profissional contemporâneo deve ser capaz de lidar com dados, compreender tecnologias emergentes e, ao mesmo tempo, considerar os impactos sociais e ambientais de suas decisões. Isso exige uma formação interdisciplinar, que valorize tanto os aspectos técnicos quanto a responsabilidade socioambiental, preparando engenheiros para atuar em organizações que buscam alinhar competitividade e compromisso com a sociedade (ROSA, 2017).

As perspectivas para o futuro indicam que a convergência entre sustentabilidade e transformação digital tende a se intensificar. Nesse sentido, a engenharia de produção se apresenta como campo estratégico para traduzir essas orientações globais em práticas aplicáveis ao contexto empresarial, garantindo que inovação e responsabilidade caminhem lado a lado (ROSELINO, 2019).

Deste modo, pode-se dizer que a análise dos fundamentos teóricos e das perspectivas relacionadas à sustentabilidade e à transformação digital evidencia a relevância da engenharia de produção como mediadora desse processo. Ao mesmo tempo em que oferece ferramentas técnicas para otimizar processos, essa área também propicia uma visão sistêmica, capaz de articular diferentes dimensões e atores envolvidos (GUPTA, 2019). O desafio que se coloca é avançar de modelos teóricos para soluções práticas que fortaleçam a competitividade, minimizem impactos negativos e contribuam para um desenvolvimento mais equilibrado e duradouro.

#### **4. O papel das PMEs no setor produtivo: desafios e oportunidades para a inovação e a sustentabilidade**

As pequenas e médias empresas (PMEs) desempenham um papel central no desenvolvimento econômico, representando parcela significativa do tecido produtivo em diversos países. No Brasil, estima-se que as PMEs correspondam a mais de 90% das empresas formais, gerando grande parte dos empregos e contribuindo para a movimentação das cadeias de suprimentos locais. Essa relevância socioeconômica torna fundamental compreender como essas organizações podem conciliar eficiência produtiva, inovação e sustentabilidade em seus modelos de operação (SAKURAI, 2018).

Apesar de sua importância, as PMEs enfrentam desafios específicos que dificultam a adoção de práticas sustentáveis e tecnológicas. Recursos financeiros limitados restringem investimentos em equipamentos modernos, softwares de gestão e tecnologias digitais, enquanto a escassez de pessoal qualificado dificulta a implementação de projetos mais complexos. Além disso, a pressão do mercado por preços competitivos muitas vezes leva essas empresas a priorizar produtividade imediata em detrimento de iniciativas de longo prazo voltadas à sustentabilidade (MACHADO, 2015).

No entanto, ainda segundo Machado (2015) a inovação representa uma oportunidade estratégica para superar essas limitações. PMEs que adotam tecnologias digitais — como sistemas de gestão integrados, sensores IoT e plataformas de análise de dados — conseguem monitorar processos em tempo real, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade de seus produtos. Por exemplo, pequenas indústrias de alimentos têm utilizado softwares de rastreabilidade para acompanhar toda a cadeia produtiva, garantindo segurança alimentar e reduzindo perdas, enquanto startups de manufatura adotam impressoras 3D para prototipagem rápida e produção sob demanda.

A sustentabilidade, por sua vez, pode ser incorporada de maneira incremental, alinhando-se a projetos de inovação digital. Pequenas empresas do setor têxtil, por exemplo, têm implementado processos de tingimento com menor consumo de água e produtos químicos, monitorados por sensores digitais que ajustam automaticamente os parâmetros de produção. Esse tipo de integração não apenas reduz impactos ambientais, mas também fortalece a imagem da empresa frente a consumidores cada vez mais conscientes (MACHADO, 2015).

Outro desafio recorrente está relacionado à cultura organizacional. Muitas PMEs possuem estruturas hierárquicas informais e rotinas centradas em processos tradicionais, o que pode dificultar a adoção de práticas inovadoras. Para contornar essa barreira, programas de capacitação e consultorias especializadas podem apoiar a transição digital. Um exemplo são empresas de logística que adotaram sistemas de roteirização inteligente, reduzindo consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, ao mesmo tempo em que otimizam a entrega de produtos (MOURA, 2017).

As cadeias de suprimentos também oferecem oportunidades estratégicas. PMEs integradas a redes colaborativas conseguem compartilhar recursos, informações e boas práticas, potencializando tanto a inovação quanto a sustentabilidade. Setores como o de construção civil têm explorado esse modelo, em que pequenas empresas de diferentes áreas da cadeia utilizam softwares compartilhados para gerenciar estoques, controlar desperdícios e coordenar cronogramas, garantindo maior eficiência e menor impacto ambiental (MOURA, 2017).

A digitalização também favorece a criação de novos modelos de negócio. PMEs podem oferecer produtos e serviços personalizados, reduzir estoques e implementar estratégias de economia circular, como reciclagem e reuso de materiais. Startups de tecnologia agrícola, por exemplo, utilizam sensores de solo conectados à nuvem para otimizar irrigação e fertilização, diminuindo o desperdício de recursos naturais e aumentando a produtividade de pequenas propriedades (MOURA, 2017).

Em termos de financiamento, programas públicos e privados voltados para inovação e sustentabilidade têm se tornado cada vez mais relevantes. Linhas de crédito específicas, incentivos fiscais e editais de inovação tecnológica permitem que PMEs implementem soluções digitais e sustentáveis com menor risco financeiro. Empresas de pequeno porte no setor de alimentos orgânicos, por exemplo, têm obtido recursos para investir em softwares de rastreabilidade, garantindo certificações e acesso a mercados premium (PICININ, 2019).

A engenharia de produção desempenha papel central nesse contexto, oferecendo metodologias e ferramentas capazes de integrar inovação, digitalização e sustentabilidade. Ferramentas como o mapeamento de processos, indicadores de desempenho e análise de eficiência energética auxiliam PMEs a identificar gargalos, reduzir desperdícios e alinhar operações a padrões sustentáveis. Essa abordagem sistêmica permite que mesmo empresas com recursos limitados implementem melhorias significativas em produtividade e responsabilidade socioambiental (PICININ, 2019).

Em síntese, Moura (2017) traz ideias parecidas com Picinin (2019) dizendo que as PMEs enfrentam desafios complexos, mas também dispõem de oportunidades concretas para aliar inovação, digitalização e sustentabilidade em seus processos. O sucesso depende da combinação de investimentos estratégicos, capacitação, adoção de tecnologias digitais e aplicação de princípios da engenharia de produção. Ao integrar essas dimensões, pequenas e médias empresas não apenas fortalecem sua competitividade, mas também contribuem para um setor produtivo mais sustentável, resiliente e inovador, capaz de atender às demandas econômicas e socioambientais contemporâneas.

## **5. Integração entre transformação digital e sustentabilidade em PMEs: modelos, práticas e estudos de caso**

A integração entre transformação digital e sustentabilidade nas pequenas e médias empresas (PMEs) vem se consolidando como um caminho estratégico para aumentar competitividade e reduzir impactos ambientais. Diferentemente de grandes corporações, as PMEs enfrentam limitações de recursos, o que exige abordagens inovadoras e adaptadas à sua realidade. Modelos de integração buscam alinhar eficiência operacional, digitalização de processos e responsabilidade socioambiental, criando um ciclo virtuoso em que tecnologias digitais suportam práticas sustentáveis e geram valor econômico (MACHADO, 2015).

Diversas práticas concretas têm demonstrado o potencial dessa integração. No setor de alimentos, pequenas indústrias têm adotado sistemas de rastreabilidade digital que monitoram a cadeia de produção do campo à mesa, reduzindo perdas e garantindo padrões de qualidade. Startups de hortifrúti, por exemplo, utilizam sensores IoT para controlar temperatura e umidade em estufas, otimizando o uso de água e fertilizantes e evitando desperdícios. Essas soluções mostram como a digitalização contribui diretamente para resultados ambientais positivos, sem comprometer a produtividade (PICININ, 2019).

No setor de manufatura, empresas de pequeno porte têm implementado impressoras 3D para prototipagem e produção sob demanda, reduzindo o consumo de matérias-primas e os resíduos gerados. A combinação de softwares de planejamento e monitoramento com técnicas de produção enxuta permite a redução de estoques excessivos e a maximização do uso de recursos, promovendo simultaneamente eficiência econômica e sustentabilidade ambiental. Tais práticas ilustram o potencial da engenharia de produção em articular processos tecnológicos e sustentáveis de forma integrada (PICININ, 2019).

Estudos de caso em PMEs do setor de logística também evidenciam benefícios concretos. Empresas que adotaram sistemas de roteirização inteligente conseguiram reduzir o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub>, ao mesmo tempo em que otimizaram prazos de entrega e custos operacionais. Plataformas digitais de gestão de frotas permitem o acompanhamento em tempo real e a tomada de decisão baseada em dados, demonstrando como a tecnologia pode tornar processos mais eficientes e ambientalmente responsáveis (MACHADO, 2015).

Além de práticas produtivas, modelos de negócios inovadores surgem a partir da convergência entre digitalização e sustentabilidade. Pequenas empresas têm explorado estratégias de economia circular, como coleta e reaproveitamento de materiais e reuso de embalagens, potencializadas por softwares de monitoramento e controle de estoques. No setor têxtil, por exemplo, startups têm usado plataformas digitais para conectar consumidores à devolução de produtos para reciclagem ou customização, reduzindo resíduos e promovendo engajamento com clientes conscientes (ROSELINO, 2019).

Roselino (2019) diz ainda que a integração entre transformação digital e sustentabilidade em PMEs não se limita à adoção isolada de tecnologias ou práticas verdes, mas envolve a criação de modelos de operação sistêmicos que maximizem eficiência, inovação e responsabilidade socioambiental. Os exemplos apresentados mostram que, mesmo com recursos limitados, pequenas e médias empresas podem implementar soluções concretas que promovam melhorias ambientais e econômicas simultaneamente. A engenharia de produção desempenha papel estratégico nesse processo, fornecendo ferramentas, metodologias e indicadores que permitem mensurar resultados, ajustar processos e consolidar a convergência entre digitalização e sustentabilidade.

## **6. Resultados**

A análise dos estudos revisados evidencia que a integração entre sustentabilidade e transformação digital nas PMEs apresenta impactos positivos em múltiplas dimensões do desempenho organizacional. Em termos de produtividade, empresas que adotam tecnologias digitais, como sistemas de rastreabilidade, sensores IoT e softwares de gestão, conseguem reduzir desperdícios, otimizar processos e melhorar a alocação de recursos. Comparativamente, os ganhos obtidos em PMEs que implementam práticas sustentáveis de forma isolada são menores, evidenciando a sinergia gerada quando inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental caminham juntas.

No âmbito ambiental, os resultados mostram que soluções digitais permitem o monitoramento contínuo de indicadores-chave, como consumo de energia, uso de água e emissões de gases de efeito estufa. Setores como o alimentício, manufatureiro e logístico têm se beneficiado desse monitoramento, reduzindo impactos negativos e promovendo práticas mais eficientes. Estudos de caso indicam que pequenas empresas que adotam essas soluções conseguem alinhar metas de sustentabilidade com redução de custos operacionais, enquanto aquelas que permanecem em processos tradicionais apresentam maior desperdício e menor rastreabilidade.

Em relação à inovação, a digitalização tem se mostrado fator decisivo para viabilizar novos modelos de negócios e estratégias de economia circular. Startups têxteis, por exemplo, utilizam plataformas digitais para incentivar a devolução de produtos e reaproveitamento de materiais, enquanto pequenas indústrias de manufatura implementam impressão 3D para prototipagem e produção sob demanda. Comparativamente, PMEs que não integram ferramentas digitais enfrentam limitações para inovar, evidenciando que a transformação digital é um habilitador crítico da sustentabilidade aplicada de forma prática.

A análise comparativa também revela diferenças significativas entre setores e portes de empresa. Setores mais intensivos em tecnologia, como manufatura e logística, apresentam maior capacidade de integrar sustentabilidade e digitalização, enquanto empresas de serviços ou com menor acesso a recursos enfrentam desafios maiores. Ainda assim, programas de capacitação, incentivos governamentais e soluções colaborativas demonstram que, mesmo em PMEs com recursos limitados, é possível obter resultados relevantes por meio da engenharia de produção aplicada de forma estratégica.

Outro resultado importante refere-se à governança e à tomada de decisão. Empresas que utilizam sistemas digitais integrados conseguem gerar dados em tempo real, permitindo decisões mais ágeis e fundamentadas em indicadores de desempenho socioambiental. Comparativamente, organizações que não adotam essas ferramentas dependem de processos manuais e apresentam menor capacidade de resposta a demandas de mercado ou regulamentações ambientais. Isso evidencia a relevância da engenharia de produção como mediadora, fornecendo ferramentas metodológicas e tecnológicas para otimizar tanto eficiência quanto sustentabilidade.

Em síntese, os resultados indicam que a convergência entre sustentabilidade e transformação digital nas PMEs proporciona benefícios significativos em produtividade, inovação, gestão de recursos e impacto ambiental. As evidências comparativas sugerem que empresas que integram esses dois eixos de forma sistemática superam limitações comuns a PMEs, consolidando vantagens competitivas. A análise reforça que a engenharia de produção desempenha papel central ao oferecer metodologias, práticas e indicadores que permitem que pequenas e médias empresas alinhem eficiência operacional, inovação e responsabilidade socioambiental de maneira estruturada e mensurável.

## **7. Considerações finais**

O presente estudo evidenciou que a integração entre sustentabilidade e transformação digital nas pequenas e médias empresas (PMEs) representa uma oportunidade estratégica para promover competitividade, inovação e responsabilidade socioambiental. A análise teórica e os exemplos práticos demonstram que, mesmo diante de limitações de recursos, PMEs conseguem implementar soluções que geram valor econômico e ambiental quando há alinhamento entre tecnologias digitais e práticas sustentáveis.

Os resultados indicam que a digitalização atua como facilitadora da sustentabilidade, possibilitando monitoramento de processos, redução de desperdícios e maior eficiência na utilização de recursos. Setores como manufatura, alimentos e logística exemplificam como sensores, softwares de gestão e sistemas de rastreabilidade podem ser aplicados de maneira prática, promovendo melhorias mensuráveis. Paralelamente, a adoção de princípios da economia circular e práticas inovadoras reforça a importância de integrar planejamento estratégico, tecnologias e responsabilidade ambiental.

A engenharia de produção se mostrou central nesse contexto, fornecendo ferramentas metodológicas, indicadores de desempenho e abordagens sistêmicas que viabilizam a convergência entre inovação, digitalização e sustentabilidade. A análise comparativa demonstrou que PMEs que aplicam esses instrumentos obtêm melhores resultados do que aquelas que permanecem em processos tradicionais, reforçando a relevância do profissional de engenharia de produção na mediação dessas transformações.

No entanto, o estudo também evidenciou desafios persistentes, como restrições financeiras, carência de pessoal qualificado e barreiras culturais, que podem dificultar a implementação de práticas digitais e sustentáveis em pequenas empresas. A superação dessas limitações depende de estratégias de capacitação, incentivos governamentais e colaboração entre empresas e instituições de pesquisa. Esses fatores mostram que a integração entre sustentabilidade e transformação digital exige abordagens estruturadas, mesmo em contextos empresariais com recursos limitados.

Para trabalhos futuros, recomenda-se aprofundar a investigação por meio de estudos empíricos que analisem indicadores de desempenho de PMEs que já adotaram práticas integradas. Pesquisas comparativas entre setores, regiões e portes de empresas podem fornecer insights mais detalhados sobre fatores críticos de sucesso e barreiras específicas. Além disso, explorar o papel de novas tecnologias emergentes, como inteligência artificial avançada pode revelar oportunidades adicionais para expandir a sustentabilidade de forma mensurável e inovadora.

Sendo assim, este estudo reforça que a convergência entre transformação digital e sustentabilidade constitui um caminho promissor para fortalecer PMEs, promovendo eficiência operacional, inovação e responsabilidade socioambiental simultaneamente. A engenharia de produção se apresenta como disciplina estratégica para apoiar essa integração, oferecendo métodos e ferramentas que possibilitam resultados concretos. A continuidade das pesquisas e a aplicação prática desses conhecimentos são essenciais para consolidar modelos de negócios mais resilientes, inovadores e sustentáveis, contribuindo para um setor produtivo mais competitivo e responsável diante dos desafios contemporâneos.

## Referências

BORGES, F. R. **Transformação Digital - Um Guia Prático Para Liderar Empresas que se reinventam**. Grupo GEN, 2021.

GUPTA, S. **Implantando a estratégia digital**: Guia para reinventar sua empresa. M. Books do Brasil Editora Ltda, São Paulo-SP, 2019

MACHADO, A. **Gerenciando a qualidade**: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 2015

MOURA, L. R. **Qualidade simplesmente total:** uma abordagem simples e prática da gestão da qualidade. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2017

PICININ, C. T. **Sistema logístico e a tendência para empresas prestadoras de serviços em logística.** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão. Salvador, BA, Brasil, 06 a 09 de outubro de 2019

SAKURAI, Ruudi. **As revoluções industriais até a Indústria 4.0.** Portal Interface Tecnológica, v.1 n.2, 20p. 2018.

ROSA, M. **Sustentabilidade Empresarial:** A importância da sustentabilidade nas organizações. Revista Eletrônica de Divulgação Científica da Faculdade Don Domênico 10ª Edição – setembro de 2017 - ISSN 2177-4641.

ROSELINO, J. E. **Indústria 4.0 e as redes globais de produção e inovação em serviços intensivos e tecnologia:** uma tipologia e apontamentos de política industrial e tecnológica. Texto para Discussão, Unicamp, Instituto de Economia, no. 356, jul/2019.