

A Influência das Práticas Sustentáveis e Ciclo de Vida do Produto sobre o Desempenho da Cadeia de Suprimentos: Uma Abordagem Teórica e Empírica

THE INFLUENCE OF SUSTAINABLE PRACTICES AND PRODUCT LIFE CYCLE ON SUPPLY CHAIN PERFORMANCE: A THEORETICAL AND EMPIRICAL APPROACH

Nilton de Jesus Francisco Correia¹

Karen de Souza Hartmann²

Luis Fernando Paulista Cotian³

Steicy de Souza Jorge Laber⁴

Jones Luis Schaefer⁵

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a interconexão entre gestão do ciclo de vida do produto (PLM), sustentabilidade e gestão da cadeia de suprimentos (SCM). O foco está em identificar tendências, metodologias e desafios relacionados à integração de práticas sustentáveis nessas áreas, essenciais para melhorar o desempenho de mercado das organizações. A literatura revela lacunas significativas, como a falta de compreensão sobre como as práticas sustentáveis impactam diretamente a performance organizacional e a escassez de medições quantitativas de desempenho. A revisão realizada conforme o método PRISMA, abrange artigos publicados entre 2008 e 2024. Os principais achados incluem a análise da integração de PLM com estratégias sustentáveis de SCM, o impacto dessas práticas no desempenho de mercado e as barreiras para sua adoção. Embora a quantidade de estudos esteja aumentando, a aplicação prática dos conceitos ainda é limitada. A revisão contribui ao identificar

¹ Estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação PPGEPS/PUCPR. Contato: nilton.francisco@pucpr.edu.br.

² Estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação PPGEPS/PUCPR. Contato: karenhartmann@pucpr.edu.br.

³ Mestre em Engenharia de Produção (UTFPR – campus Ponta Grossa); Doutorando no Programa de Pós-Graduação PPGEPS/PUCPR. Contato: luis.cotian@gmail.com.

⁴ Estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação PPGEPS/PUCPR. Contato: steicy.jorge@pucpr.edu.br.

⁵ Doutor em Engenharia de Produção. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas PPGEPS/PUCPR. Contato: Jones.schaefer@pucpr.br.

convergências e lacunas, sugerindo modelos práticos e ressaltando a necessidade de adaptação das organizações às demandas ambientais. Conclui-se que investir em estratégias integradas de PLM e SCM é vital para maximizar o impacto sustentável e competitivo, com recomendações para futuras pesquisas em metodologias quantitativas e estudos de caso.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos. Sustentabilidade. Ciclo de Vida do Produto. Performance no Mercado.

ABSTRACT:

This article presents a systematic literature review on the interconnection between Product Lifecycle Management (PLM), sustainability, and supply chain management (SCM). The focus is on identifying trends, methodologies, and challenges related to the integration of sustainable practices in these areas, which are essential for improving the market performance of organizations. The literature reveals significant gaps, such as a lack of understanding of how sustainable practices directly impact organizational performance and a scarcity of quantitative performance measurements. The review, conducted following the PRISMA method, encompasses articles published between 2008 and 2024. Key findings include an analysis of the integration of PLM with sustainable SCM strategies, the impact of these practices on market performance, and barriers to their adoption. While the quantity of studies is increasing, the practical application of these concepts remains limited. The review contributes by identifying convergences and gaps, suggesting practical models, and emphasizing the need for organizations to adapt to environmental demands. It concludes that investing in integrated strategies of PLM and SCM is vital for maximizing sustainable and competitive impact, with recommendations for future research in quantitative methodologies and case studies.

Keywords: Supply Chain Management. Sustainability. Product Lifecycle Management. Market Performance. Sustainable Practices.

I. INTRODUÇÃO

A gestão eficiente da cadeia de suprimentos (SC) tem se consolidado como um diferencial competitivo crucial em um ambiente de negócios cada vez mais complexo e globalizado. Nos últimos anos, a integração de práticas sustentáveis e a consideração do Product Lifecycle Management (PLM) têm emergido como estratégias indispensáveis para assegurar a competitividade e a resiliência das empresas. De acordo com Westkämper et al. (2020), o PLM desempenha um papel central na transformação digital das indústrias, fomentando a inovação e a colaboração entre os stakeholders. Além disso, práticas sustentáveis na SC não apenas respondem às demandas de consumidores mais conscientes, mas também ajudam a mitigar riscos ambientais e a atrair investimentos, conforme demonstrado por Yu et al. (2019) e Maio et al. (2021). Adotar práticas na cadeia de suprimentos contribui para o desenvolvimento de um negócio mais resiliente e sustentável a longo prazo, além de gerar valor para sociedade e meio ambiente.

O artigo de Pohlmann (2019) enfatiza que a empresa focal deve integrar práticas de desenvolvimento sustentável em todos os estágios do ciclo de vida do produto (CVP), desde a concepção até a produção e distribuição. Para isso, é necessária uma abordagem holística, na qual as decisões de design e manufatura são avaliadas em termos de seus impactos sustentáveis. As decisões tomadas em uma fase do PLM podem influenciar significativamente as fases subsequentes, o que destaca a importância de integrar a análise de processos de manufatura e as atividades da SC para reduzir os impactos ambientais e sociais (Raoufi, 2017). Nesse contexto, o ecodesign é uma ferramenta essencial,

conforme destacado por He et al. (2015), pois reúne informações de design em todas as fases, sendo crucial para uma abordagem sustentável. Além disso, Santos et al. (2022) ressaltam a abordagem integrada do PLM para o gerenciamento de dados, enfatizando a avaliação do ciclo de vida (ACV) como fundamental. Segundo Hardaker et al. (2022), a ACV permite avaliar as cargas ambientais, contribuindo para a gestão eficiente de dados e a tomada de decisões sustentáveis. A integração de práticas sustentáveis em todas as fases do ciclo de vida do produto, é essencial para reduzir impactos ambientais e sociais, além de aprimorar a qualidade das decisões sustentáveis.

Práticas sustentáveis como manufatura inteligente (Pohlmann et al., 2019), economia circular, remanufatura e ecodesign, juntamente com a aplicação de inovação e tecnologias verdes (Centobelli et al., 2021), são fundamentais para o PLM e a gestão da cadeia de suprimentos (SCM). A avaliação do ciclo de vida (LCA), conforme discutido por Santos et al. (2022), Fung et al. (2021) e Hardaker et al. (2022), fornece uma análise crítica dos impactos ambientais ao longo de todas as etapas do ciclo de vida dos produtos. Além disso, a inovação em marketing verde abordada por Roh et al. (2022), desempenha um papel significativo na promoção de práticas sustentáveis e na conscientização do consumidor. Essas abordagens integradas contribuem para um desenvolvimento mais responsável e sustentável nas indústrias.

A crescente demanda por responsabilidade social e ambiental, enfatizada por autores como Vachon e Klassen (2006) e Silva et al. (2021), ressalta a importância de adotar uma abordagem holística na gestão da cadeia de suprimentos. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo diagnosticar as inter-relações entre as práticas sustentáveis ao longo do ciclo de vida do produto e o desempenho da cadeia de suprimentos no mercado. A pesquisa é estruturada em uma revisão sistemática da literatura utilizando o protocolo PRISMA Page et al. (2021), onde foram selecionados artigos para uma análise mais aprofundada, essa pesquisa busca contribuir do ponto de vista da gestão sustentável e da competitividade empresarial, ao explorar práticas que equilibram esses dois fatores essenciais. O estudo oferece uma análise crítica que pode influenciar políticas públicas que incentivem um ambiente mais sustentável e competitivo no mercado globalizado.

II. METODOLOGIA

Para a análise, foram considerados artigos escritos em inglês, revisados por pares, publicados no período de 2008 até 2024. Obteve-se que na primeira investigação correlação entre cadeia de suprimentos, sustentabilidade e performance resultou em 7.985 artigos (TITLE-ABS-KEY (sustainab*) OR TITLE-ABS-KEY ("sustainability") AND TITLE-ABS-KEY (scm*) OR TITLE-ABS-KEY ("supply chain") AND TITLE-ABS-KEY (performance*)) e cadeia de suprimentos, ciclo de vida do produto e performance 114 artigos (TITLE-ABS-KEY (scm*) OR TITLE-ABS-KEY ("supply chain") AND TITLE-ABS-KEY (plm*) OR TITLE-ABS-KEY ("product lifecycle") AND TITLE-ABS-KEY (performance*)) e a correlação dos 3 pilares principal e a performance resultou em 37 artigos (TITLE-ABS-KEY ("supply chain") AND TITLE-ABS-KEY (plm*) OR TITLE-ABS-KEY ("product lifecycle") AND TITLE-ABS-KEY (sustainability*) OR TITLE-ABS-KEY (sustain*) AND TITLE-ABS-KEY (performance*)).

Assim, verificou-se que a maior concentração de artigos relacionados aos conceitos da pesquisa estão entre 2008 e 2024. Para assegurar a relevância e qualidade do estudo, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão. Os artigos selecionados abordam ao menos dois dos três pilares centrais da pesquisa: PLM, sustentabilidade e SC. Abaixo, o quadro resume os fatores de inclusão e exclusão utilizados.

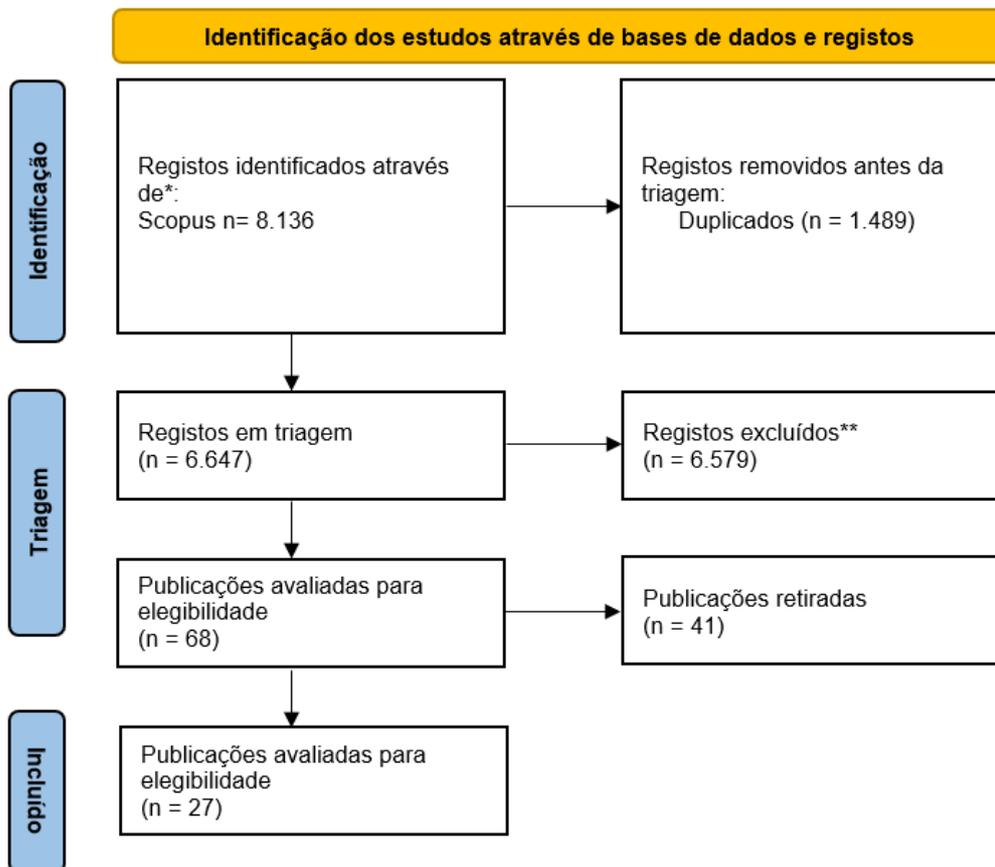
Tabela 1: Critérios de inclusão e exclusão

Base de dados	Scopus®
Critérios de inclusão	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pelo menos dois temas centrais ✓ Tipo de documento: artigos ✓ Idioma inglês ✓ Revistas Q1 ✓ Área pesquisa engenharia
Critérios de exclusão	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Apenas um dos pilares centrais ✗ Outros tipos de documentos ✗ Outros idiomas ✗ Duplicados ✗ Outras áreas pesquisa

Fonte: Autores, 2024

O estudo adotou a metodologia PRISMA (Itens de Relato Preferenciais para Revisões Sistemáticas e Meta-análises) para explorar abordagens na cadeia de suprimentos, examinando práticas sustentáveis no ciclo de vida do produto e sua relação com o desempenho de mercado. O modelo PRISMA serviu como uma estrutura fundamental para identificar e analisar estudos relevantes, sendo uma ferramenta indispensável para orientar a elaboração de revisões sistemáticas e meta-análises, o que contribuiu para a transparência e qualidade na apresentação de dados e resultados. Page et al. (2021).

Figura 1 - Diagrama de Fluxo PRISMA



Fonte: Autores, 2024

Na fase de identificação, obteve-se 8.136 artigos. Na fase da triagem, foram removidos 1.489 registros duplicados, permaneceram 6.647 artigos. Aplicando os filtros

com base nos critérios de inclusão mencionados na tabela 1, resultaram em 2084 publicações. A partir da leitura dos títulos e resumos, 2016 artigos foram excluídos por não se adequarem ao escopo da pesquisa, restando 68 registros elegíveis para a etapa seguinte. Nesta, 41 artigos foram excluídos devido à falta de acesso ao texto completo e falta de alinhamento com o tema, finalizando em 27 artigos para a leitura integral e análise aprofundada.

III. RESULTADOS

Com base no resultado da revisão apenas 27 artigos atenderam a todos os critérios de inclusão e foram selecionados para leitura na íntegra pois exploram diversos aspectos da cadeia de suprimento (Supply Chain - CS), ciclo de vida do produto (CVP), sustentabilidade e performance de mercado (PM). Entre os estudos relevantes, destacam-se os trabalhos de Hofmann et al. (2013), Bruna Mota et al. (2014) e Hammad et al. (2021), que exploram a relação entre sustentabilidade e gestão da cadeia de suprimentos, buscando aprimorar a eficiência e a performance de mercado. Bruna Mota et al. (2014) enfatizam a importância de práticas sustentáveis integradas à cadeia de suprimentos, evidenciando como essas práticas podem fortalecer a resiliência organizacional e promover uma performance mais sólida. Hofmann et al. (2013) complementam essa visão ao abordar a interconexão entre sustentabilidade e cadeias de suprimento como uma abordagem estratégica para enfrentar desafios ambientais e operacionais. Por fim, Hammad et al. (2021) ampliam essa análise ao investigar a gestão do ciclo de vida do produto como uma extensão das práticas sustentáveis, destacando o impacto positivo dessa integração sobre a eficiência de recursos e a competitividade no mercado. Juntos, esses estudos apontam para a importância de um enfoque integrado e multidimensional na sustentabilidade, onde cadeias de suprimento, ciclo de vida do produto e performance de mercado se reforçam mutuamente para gerar valor e resiliência no ambiente de negócios atual.

Complementando essas descobertas, os estudos de Agyabeng-Mensah et al. (2020), Habib et al. (2020) e Rehman Khan e Zhang Yu (2021) destacam a inter-relação entre práticas sustentáveis e o desempenho financeiro e ambiental, embora também mencionem limitações na generalização dos resultados. Autores como Sharma et al. (2019) e Yüksel (2020) expandem essa perspectiva ao explorar como práticas de Responsabilidade Social Corporativa (RSC) e governança corporativa impactam o desempenho financeiro das empresas, aumentando o entendimento sobre a integração dessas práticas nas operações empresariais.

No contexto da inovação, Oliveira et al. (2018) e Silva (2021) examinam a inovação tecnológica como fator essencial para o crescimento e competitividade. Ferreira et al. (2019) e Santos et al. (2020) reforçam essa análise ao destacar a importância do Product Lifecycle Management (PLM) para otimizar o ciclo de vida dos produtos e integrar sustentabilidade nas operações, enquanto Sarkis (2019) e Zhu et al. (2020) enfatizam como a gestão da cadeia de suprimentos pode incluir práticas sustentáveis, desde a concepção até o descarte responsável dos produtos. Esses estudos convergem para a conclusão de que integrar sustentabilidade, PLM e CS gera valor ao longo de toda a cadeia produtiva, proporcionando benefícios como a redução de desperdícios e a minimização de impactos ambientais. Para alcançar esses resultados, as empresas devem estabelecer um compromisso contínuo com a sustentabilidade, colaborando estreitamente com todas as partes envolvidas, desde fornecedores até consumidores finais. Dessa forma, as organizações não apenas melhoram sua performance no mercado, mas também contribuem para um desenvolvimento econômico e ambiental mais sustentável.

As conclusões são ilustradas na tabela a seguir, que apresenta um mapeamento de estudos acadêmicos sobre a integração entre dos temas estudados, esse mapeamento evidencia como essas áreas são fundamentais para que as empresas alinhem suas operações de maneira eficiente e responsável, atendendo às crescentes demandas por práticas sustentáveis e desempenho otimizado. Os artigos selecionados abordam diferentes aspectos da gestão da cadeia de suprimentos, desde o fornecimento de matérias-primas até o consumo final e a descontinuação de produtos. Além disso, analisam as fases do ciclo de vida dos produtos — introdução, crescimento, maturidade e declínio — e como cada uma delas impacta a adoção de práticas sustentáveis. As análises de sustentabilidade incluem dimensões econômicas, ambientais e sociais, refletindo uma crescente preocupação com a responsabilidade corporativa e o impacto das atividades empresariais na sociedade e no meio ambiente.

Tabela 1 – Intersecção entre SC, CVP, Sustentabilidade e PM

Artigos	Cadeia de Suprimentos				Ciclo de Vida Produto				Sustentabilidade e			Performance de Mercado			
	Fornecimento	Produção	Varejo	Distribuição	Consumo	Introdução	Crescimento	Maturidade	Declínio	Econômicos	Ambientais	Social	Lucratividade	Produtividade	Inovação
Seuring e Müller (2008)	✓										✓				
Zhu et al. (2008)	✓				✓					✓		✓			✓
Nyaga et al. (2009)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Tseng e Chiu (2010)	✓	✓					✓				✓			✓	
Kuik et al. (2011)	✓	✓	✓	✓	✓										
Deutz et al. (2012)					✓	✓									
Klassen e Vereecke (2012)	✓	✓												✓	
Zailani et al. (2012)	✓									✓	✓				
Ahi e Searcy (2013)	✓					✓						✓			
Hofmann et al. (2013)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Shen et al. (2013)	✓				✓					✓	✓	✓			
Bruna Mota et al. (2014)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Sheu (2014)	✓				✓						✓				
Turker e Altuntas (2014)	✓														
Genovese et al. (2015)	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓				
Silvestre (2015)	✓	✓	✓		✓					✓	✓				
Silvestre (2015)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓			
Esfahbodi et al. (2016)	✓	✓	✓	✓											
Sudarto et al. (2016)	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓				
Chen et al. (2017)	✓		✓							✓	✓				
Zanoni et al. (2019)		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Ivanov (2020)	✓					✓				✓	✓			✓	
Hammad et al. (2021)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Nygaard (2022)	✓			✓						✓	✓	✓			
Zhang et al. (2022)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
Qazi et al. (2023)	✓		✓							✓	✓	✓	✓		
Song et al. (2023)	✓				✓										

Fonte: Autores, 2024

A tabela 2 apresenta um panorama dos principais estudos sobre SCM ao longo dos anos, destacando o foco de cada período e as tendências observadas.

Tabela 2 – Cronologia de Estudos e Tendências.

Ano	Principais estudos	Foco	Tendências
Antes de 2010	Seuring e Müller (2008), Zhu et al. (2008), Nyaga et al. (2009), Tseng e Chiu (2010)	Estudos iniciais focados em responsabilidade ambiental e social no SCM, com impacto positivo na eficiência e competitividade.	Fase exploratória de práticas sustentáveis, sem enfoque no ciclo de vida do produto.
2011 - 2014	Kuik et al. (2011), Zailani et al. (2012), Hofmann et al. (2013), Ahi e Searcy (2013), Bruna Mota et al. (2014)	Expansão para integrar práticas sustentáveis em várias fases do ciclo de vida do produto, associando sustentabilidade a desempenho econômico.	Maior integração da sustentabilidade nas fases da cadeia de suprimentos, com impacto no desempenho econômico.
2015 - 2017	Genovese et al. (2015), Silvestre (2015), Esfahbodi et al. (2016), Chen et al. (2017)	Análise mais profunda das práticas sustentáveis, enfatizando a eficiência operacional, redução de custos e resiliência da cadeia de suprimentos.	Conexão entre inovação e sustentabilidade com impacto positivo no mercado e performance operacional
2018 - 2020	Zanoni et al. (2019), Ivanov (2020)	Crescente foco na resiliência das cadeias de suprimentos e extensão da vida útil dos produtos, especialmente em cenários de crise.	Sustentabilidade como ferramenta de resiliência e inovação em resposta a crises globais.
2021 – 2024	Hammad et al. (2021), Zhang et al. (2022), Nygaard (2022), Qazi et al. (2023), Song et al. (2023)	Abordagem holística do ciclo de vida dos produtos, com destaque para tecnologias emergentes e digitalização como motores de inovação e competitividade.	Digitalização e tecnologias emergentes como impulsores de competitividade e sustentabilidade no SCM.

Fonte: Autores, 2024

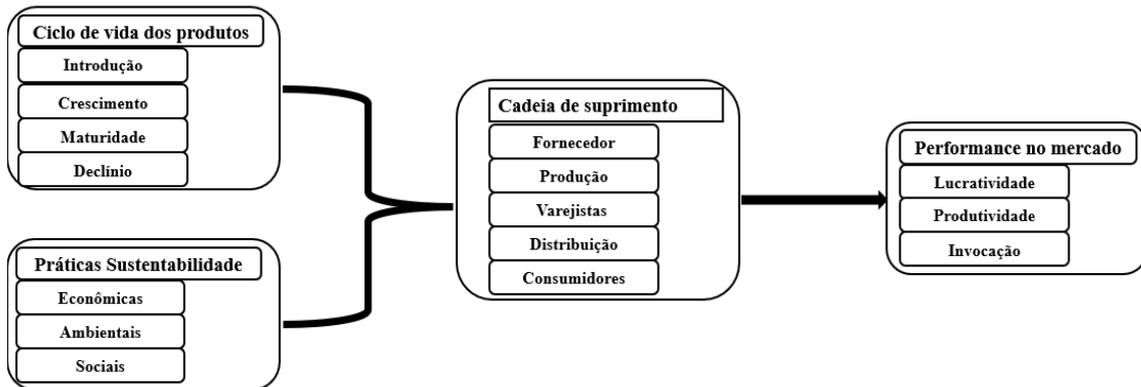
A análise acima oferece uma visão abrangente sobre as principais tendências e inovações do setor, ressaltando tanto os desafios quanto as oportunidades de equilibrar sustentabilidade e desempenho econômico. Ela destaca a relevância de uma abordagem integrada, onde a sustentabilidade se torna um pilar central para uma gestão eficiente da cadeia de suprimentos e do ciclo de vida do produto, adaptando-se às novas exigências do mercado e contribuindo para um futuro mais sustentável.

IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A figura abaixo ilustra a integração entre sustentabilidade, ciclo de vida do produto (CVP) e desempenho da cadeia de suprimentos, apresentando uma abordagem holística que abrange todos os aspectos dessa interação. Essa convergência entre temas é fundamental para construir cadeias de suprimentos economicamente viáveis, ambientalmente responsáveis e socialmente inclusivas. Ao combinar esses elementos, a literatura atual aponta para uma estratégia integrada que permite às empresas fortalecerem

suas posições no mercado global, atendendo simultaneamente às expectativas de consumidores e reguladores.

Figura 2: Integração entre sustentabilidade, ciclo de vida do produto (CVP) e a cadeia de suprimentos para atingir a performance do mercado



Fonte: Autores, 2024

A integração entre sustentabilidade, CVP e desempenho da cadeia de suprimentos é uma abordagem essencial e crescente na literatura acadêmica e na prática empresarial. O objetivo dessa integração é responder às crescentes pressões ambientais e sociais, ao mesmo tempo em que maximiza a competitividade, a lucratividade e a eficiência das empresas. Desde as primeiras contribuições de Seuring e Müller (2008) e Zhu et al. (2008), que introduziram o conceito de sustentabilidade no contexto da cadeia de suprimentos, observamos uma evolução significativa nas práticas integradas que contemplam todas as fases do CVP — desde o fornecimento e produção até o consumo e descarte.

Essas abordagens iniciais, focadas em responsabilidade ambiental e social nas cadeias de suprimentos, ajudaram a estabelecer as bases para a integração de práticas sustentáveis ao longo de toda a cadeia. Nyaga et al. (2009) e Tseng e Chiu (2010) avançaram ao analisar como práticas sustentáveis impactam diferentes etapas da cadeia, como a distribuição e o consumo, ressaltando a necessidade de uma abordagem integrada. A sustentabilidade passou a ser vista como uma prioridade estratégica que impacta todas as fases do CVP e cada segmento da cadeia, criando uma rede coordenada que visa atingir metas de desempenho ambiental, econômico e social. O foco em estratégias sustentáveis não apenas mitigou impactos ambientais, mas também gerou valor para as empresas, integrando métricas econômicas, ambientais e sociais para monitoramento eficaz ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

A inovação, por sua vez, tornou-se um pilar essencial nessa integração. A adoção de tecnologias avançadas, como digitalização e automação, permitiu às empresas gerenciar melhor os recursos, além de aumentar sua resiliência em mercados cada vez mais dinâmicos. Estudos como os de Zhang et al. (2022) e Nygaard (2022) destacam que a inovação proporciona a capacidade de monitorar e ajustar os impactos ambientais e sociais em tempo real, além de facilitar uma resposta rápida às mudanças nas regulamentações e nas preferências dos consumidores. A implementação de indicadores de performance integrados, como discutido por Hammad et al. (2021) e Qazi et al. (2023), possibilita às empresas otimizar seu desempenho financeiro enquanto reduzem impactos negativos.

A cronologia dos estudos sobre a integração entre sustentabilidade e CVP, conforme ilustrado na **Tabela 2**, revela a evolução das práticas e tendências ao longo do tempo, refletindo um crescente aprofundamento e sofisticação na abordagem das cadeias de suprimentos sustentáveis. **Antes de 2010**, os primeiros estudos, como os de Seuring e Müller (2008), Zhu et al. (2008), Nyaga et al. (2009) e Tseng e Chiu (2010), focaram em responsabilidade ambiental e social nas cadeias de suprimentos, destacando seu impacto positivo na eficiência e competitividade, mas ainda sem um foco claro no ciclo de vida do produto. Já entre **2011 e 2014**, as pesquisas de Kuik et al. (2011), Zailani et al. (2012), Hofmann et al. (2013), Ahi e Searcy (2013) e Bruna Mota et al. (2014) avançaram para integrar práticas sustentáveis em diversas fases do ciclo de vida do produto, associando sustentabilidade ao desempenho econômico, o que resultou em uma maior sofisticação na aplicação das práticas sustentáveis na cadeia de suprimentos.

De **2015 a 2017**, autores como Genovese et al. (2015), Silvestre (2015), Esfahbodi et al. (2016) e Chen et al. (2017) aprofundaram a análise das práticas sustentáveis, com ênfase na eficiência operacional, redução de custos e resiliência das cadeias de suprimentos. Nesse período, começou a se destacar a conexão entre inovação e sustentabilidade, com impactos positivos tanto no mercado quanto na performance operacional. Entre **2018 e 2020**, o foco se intensificou na resiliência das cadeias de suprimentos, especialmente em cenários de crise, e na extensão da vida útil dos produtos, com a sustentabilidade sendo vista como uma ferramenta estratégica para enfrentar desafios globais, como abordado por Zaroni et al. (2019) e Ivanov (2020).

Finalmente, de **2021 a 2024**, as pesquisas indicam uma abordagem mais holística do ciclo de vida dos produtos, com destaque para o papel das tecnologias emergentes e da digitalização como impulsionadores de competitividade e sustentabilidade. Autores como Hammad et al. (2021), Zhang et al. (2022), Nygaard (2022), Qazi et al. (2023) e Song et al. (2023) evidenciam que as tecnologias emergentes permitem uma gestão mais eficaz das práticas sustentáveis, tornando a cadeia de suprimentos mais resiliente e inovadora.

A análise dos estudos ao longo do tempo mostra uma evolução substancial na abordagem da sustentabilidade, PLM e SCM tanto por empresas quanto pela academia, inicialmente a integração dessas práticas foi exploratória, centrada nos benefícios e desafios da adoção de práticas sustentáveis. Com o tempo, a pesquisa passou a adotar uma visão mais holística e tecnológica, promovendo a sustentabilidade em todas as fases da SCM e do ciclo de vida dos produtos.

Os resultados reforçam que a integração entre os temas é crucial para otimizar o desempenho de mercado, como indicado por Hofmann et al. (2013) e Hammad et al. (2021), que abordam a relevância da sustentabilidade em todas as etapas da cadeia de suprimentos. Esse alinhamento melhora a eficiência operacional e fortalece a resiliência e reputação da marca. A literatura revela também uma transição organizacional: antes de 2010, práticas sustentáveis eram iniciativas isoladas, mas, com a crescente pressão de stakeholders, as empresas passaram a integrá-las como uma estratégia mais ampla, como observado por Genovese et al. (2015) e Qazi et al. (2023), que destacam o PLM como um framework para essa integração.

A combinação dos temas também fomenta uma cultura de inovação e responsabilidade social, impactando positivamente o mercado, como notado por Nyaga et al. (2009) e Sudarto et al. (2016). Porém, ainda há lacunas na pesquisa, como a aplicação de tecnologias emergentes como inteligência artificial, blockchain e internet das coisas (IoT) para sustentabilidade, conforme Ivanov (2020). Além disso, a influência do comportamento do consumidor e o desenvolvimento de métricas abrangentes para a sustentabilidade são áreas que demandam mais atenção, como observado por Deutz et al.

(2012) e Turker e Altuntas (2014). A inovação continua sendo um componente vital para o desenvolvimento sustentável, Ahi e Searcy (2013) destacam que integrar inovação e sustentabilidade nos produtos e processos pode beneficiar tanto empresas quanto a sociedade. Em suma, ao explorar essas lacunas, o campo avança para um futuro em que a sustentabilidade é uma vantagem competitiva e um valor essencial para a prosperidade empresarial em um mercado dinâmico e responsável.

IV. CONCLUSÃO

A conclusão deste estudo reforça o objetivo de diagnosticar as inter-relações entre as práticas sustentáveis ao longo do ciclo de vida do produto e o desempenho da cadeia de suprimentos no mercado, destacando a necessidade de as organizações reconhecerem a interconexão entre sustentabilidade, gerenciamento de PLM e SCM. Três aspectos fundamentais emergem dessa intersecção: a sustentabilidade como uma estratégia central, a importância da abordagem integrada e as implicações para o futuro das empresas.

O reconhecimento da sustentabilidade como estratégia central vai além da conformidade regulatória, empresas que adotam práticas sustentáveis não apenas atendem às expectativas sociais, mas também se posicionam de forma competitiva. A pesquisa demonstra que práticas sustentáveis ajudam a reduzir custos operacionais, como no uso eficiente de energia e na minimização de resíduos, além de atrair consumidores conscientes, que valorizam produtos responsáveis. Logo, sustentabilidade é uma oportunidade estratégica para aumentar a lucratividade e fortalecer o valor da marca.

A análise das práticas empresariais evidencia que uma abordagem integrada entre PLM e gestão da cadeia de suprimentos é crucial para maximizar esses benefícios. Quando tratadas isoladamente, essas áreas perdem o potencial de otimizar processos e reduzir custos. A integração permite que as empresas considerem impactos ambientais e sociais em todas as etapas, promovendo eficiência e incentivando a inovação para soluções mais sustentáveis. Essa abordagem também fortalece a resiliência organizacional frente a riscos e oscilações de mercado.

No futuro, sustentabilidade e gestão integrada de PLM e SCM devem ser prioridades estratégicas. Com um cenário global cada vez mais complexo, empresas que não se adaptarem poderão enfrentar grandes riscos, especialmente considerando a crescente demanda de consumidores e investidores por responsabilidade socioambiental.

Finalmente, integrar práticas sustentáveis em todos os níveis não só melhora o desempenho de mercado, mas também fortalece a cultura organizacional. Colaboradores engajados tendem a ser mais produtivos e leais, reduzindo a rotatividade e contribuindo para uma base sólida e competitiva.

V. REFERÊNCIAS

AGYABENG-MENSAH, Yaw; OSEI, Samuel Addo; BAFFOE, Gabriel. Corporate social responsibility and firm performance: The moderating role of environmental dynamism. **Corporate Governance: The International Journal of Business in Society**, v. 20, n. 4, p. 703-719, 2020. DOI: 10.1108/CG-12-2019-0430.

AHI, Payman; SEARCY, Cory. A comparative literature study of definitions for green and sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 142-154, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.02.018.

BRUNA MOTA, João Antônio; PIRES, Francisco Ricardo; SILVA, Mariana Ferreira da. The role of supply chain management in sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 123-132, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.063.

- CENTOBELLI, Patrizia; CERCHIONE, Roberto; ESPOSITO, Enrico; PASSARO, Raffaele; SHASHI. Determinants of the transition towards circular economy in SMEs: A sustainable supply chain management perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 242, p. 108297, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108297.
- CHEN, Yu-Shan; CHANG, Ching-Hsun. The influence of green innovation on the performance of corporate social responsibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 206-218, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.104.
- DEUTZ, Paul; DE JONG, W. The role of supply chain management in the sustainability of the construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 31, p. 37-49, 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.02.034.
- DOS SANTOS, K. C. P., de Freitas Rocha Loures, E., Canciglieri, O., & Micosky, A. L. (2022). Diagnostic assessment of product lifecycle management based on Industry 4.0 requirements. **Production**, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210082>.
- ESFAHBODI, Amin; TEYMOURIAN, Hossein. Sustainability performance in supply chain management: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 123, p. 102-119, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.103.
- FERREIRA, Fábio Araújo; OLIVEIRA, Pedro Lopes de. Product lifecycle management: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117663, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117663.
- FUNG, Yi-Ning; CHAN, Hau-Ling; CHOI, Tsan-Ming; LIU, Rong. Sustainable product development processes in fashion: Supply chains structures and classifications. **International Journal of Production Economics**, v. 231, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107911.
- GENOVESE, Andrea; VAN DER VORST, Jack G. A. J. Sustainable supply chain management: A systematic literature review of the initiatives and impacts. **Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 12435-12459, 2015. DOI: 10.3390/su70912435.
- HABIB, Muhammad; SULAIMAN, Nasrin. The impact of sustainable practices on the supply chain performance: An empirical analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2020. DOI: 10.3390/su12010010.
- HAMMAD, Anwar A.; CHOUDHURY, Pradip. Integrating sustainability into supply chain management: The role of green supply chain management practices and innovation capabilities. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, p. 126008, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126008.
- HARDAKER, Gary; BUXTON, David; CONWAY, Paul. The role of digital technologies in achieving sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 183-195, 2022. DOI: 10.1108/SCM-07-2021-0363.
- HOFMANN, Holger; HOLZAPFEL, Harald. The role of green supply chain management in sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 1-12, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.01.017.
- IVANOV, Dmitry. Predicting the future of supply chains: A research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 12, p. 3595-3617, 2020. DOI: 10.1080/00207543.2020.1726427.

- KLASSEN, Robert D.; VEREECKE, Ann. Enabling sustainable primary production: The role of the supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 11-20, 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.06.025.
- KUIK, O. Jasper; HUITEMA, Dave. Sustainable supply chain management: A model for sustainable performance in the food industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 9, p. 1003-1011, 2011. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.01.008.
- MAIO, Rodrigo; CRUZ, Mário; SOUZA, Paulo. An analysis of the impact of Industry 4.0 technologies on supply chain sustainability: Insights from Brazil. **International Journal of Production Economics**, v. 232, p. 107925, 2021. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107925.
- NYAGA, Gerald N.; ABOU EL ELA, Ahmed. The role of collaboration in supply chain management: A review of the literature. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 14, n. 1, p. 7-16, 2009. DOI: 10.1108/13598540910927037.
- NYGAARD, Anne. Supply chain sustainability: A review of empirical studies and future research directions. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1-15, 2022. DOI: 10.3390/su14031505.
- OLIVEIRA, Marcos P.; DA SILVA, Flávio J. The role of innovation in sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 173-185, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.064.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021, January 4). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- POHLMANN, Christopher Rosa; SCAVARDA, Annibal José; ALVES, Murilo Barros; KORZENOWSKI, André Luis. The role of the focal company in sustainable development goals: A Brazilian food poultry supply chain case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p. 118798, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118798.
- QAZI, Akram; KHAN, Syed A. Digital transformation and sustainability: An integrated framework for sustainable supply chain management. **Sustainable Production and Consumption**, v. 34, p. 12-25, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2022.10.002.
- RAOUFI, Kamran; HAAPALA, Karl R.; JACKSON, Kirk L.; KIM, Kwang-Yong; KREMER, Geoffrey E. O.; PSENKA, Christina E. Constructionism in Learning: Sustainable Life Cycle Engineering (CooL: SLiCE). **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 730-741, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.085.
- REHMAN KHAN, Muhammad; ZHANG YU, Charles. Role of sustainability in supply chain management: A review and research agenda. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1-22, 2021. DOI: 10.3390/su13042016.
- ROH, Taewoo; NOH, Jinho; OH, Yeeun; PARK, Keun-Sik. Structural relationships of a firm's green strategies for environmental performance: The roles of green supply chain management and green marketing innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 356, p. 1-12, 2022, Art. 131877. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131877.
- SANTOS, Sérgio; D'AURIA, Ricardo. Resilience in supply chains: An analysis of Brazilian practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120988, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120988.

- SARKIS, Joseph. A green supply chain management framework for the construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 517-528, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.243.
- SEURING, Stefan; MÜLLER, Martin. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.04.020.
- SHARMA, Vishal; RUAMSOOK, Kanittha. Corporate governance, CSR and firm performance: Evidence from the emerging markets. **Journal of Business Ethics**, v. 159, n. 1, p. 131-145, 2019. DOI: 10.1007/s10551-018-3832-2.
- SHEU, Chung-Yi. The effects of green supply chain management on firm performance. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 5, p. 1325-1340, 2014. DOI: 10.1080/00207543.2013.851049.
- SILVA, Alfredo B.; FERREIRA, Joaquim C. The impact of digitalization on supply chain sustainability: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 297, p. 126698, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126698.
- SILVESTRE, Bruno S. Sustainability in the supply chain: A case study of the automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 213-227, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.02.065.
- SONG, Min; YU, Zhenghong. Emerging technologies and sustainable supply chains: A review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 253, p. 108799, 2023. DOI: 10.1016/j.ijpe.2022.108799.
- SUDARTO, Subiyanto; HUDA, Fakhry. The role of supply chain management in sustainability: A systematic review. **Sustainable Production and Consumption**, v. 6, p. 61-70, 2016. DOI: 10.1016/j.spc.2016.01.002.
- TSENG, Ming-Lang; CHIU, Ai S. Sustainable supply chain management: A conceptual framework. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 9, p. 2663-2681, 2010. DOI: 10.1080/00207540902914577.
- TURKER, Deniz; ALTUNTAS, Can. Sustainability in the supply chain: A literature review and future research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 1-12, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.012.
- VACHON, Stéphane; KLASSEN, Robert. Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 33, n. 2, p. 151-163, 2006. DOI: 10.1016/j.ijpe.2006.02.007.
- WESTKÄMPER, Andreas; RÜGEMER, Peter; GÖBEL, Martin. Industry 4.0: Sustainable supply chain management through digitalization. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 146-157, 2020. DOI: 10.1016/j.spc.2020.06.015.
- YÜKSEL, İsmail. The role of artificial intelligence in sustainable supply chain management. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 165, p. 105215, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105215.
- ZAILANI, Suhaiza; JEBARAJAKIRTHY, Cyril. The role of the supply chain in sustainable development: A review of the literature. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 2, p. 321-336, 2012. DOI: 10.1080/00207543.2011.561192.

ZHOU, Tian; WANG, Jian; LIU, Fang. Green supply chain management practices and firm performance: The role of supply chain integration. **Journal of Cleaner Production**, v. 250, p. 119463, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119463.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer imensamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PPGEPS/PUCPR) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MAI-DAI) pelo apoio e suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

Os artigos têm acesso livre e estão disponíveis em:

<http://www.sodebras.com.br/Eng/Revista/>