

LEAN, INDÚSTRIA 4.0 E ECONOMIA CIRCULAR: CONVERGÊNCIAS E DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE

RESUMO

Introdução

A integração entre Lean Manufacturing, Indústria 4.0 e Economia Circular busca modelos produtivos sustentáveis, mas ainda há divergências quanto ao papel do Lean tradicional (TEIXEIRA, 2021). A sustentabilidade evoluiu para questão ética e intergeracional, consolidada no Triple Bottom Line (ELKINGTON, 1997; MIKHAILOVA, 2004). A Indústria 4.0 favorece práticas sustentáveis, apesar de barreiras de adoção (AZEVEDO; AGUIAR, 2022).

Problema de Pesquisa e Objetivo

A busca por modelos produtivos sustentáveis tem aproximado Lean Manufacturing, Indústria 4.0 e Economia Circular. Apesar das complementaridades apontadas, os estudos permanecem fragmentados e divergem sobre o papel do Lean tradicional na sustentabilidade, o que reforça a necessidade de sistematizar o conhecimento. Este trabalho analisa a produção científica recente, identificando convergências, divergências e lacunas na literatura.

Fundamentação Teórica

A sustentabilidade, consolidada no conceito de Triple Bottom Line, integra dimensões econômica, social e ambiental nas estratégias empresariais. O Lean Manufacturing, inspirado no modelo Toyota, busca eliminar desperdícios e vem ampliando seu foco para questões ambientais, originando o lean green. A Economia Circular propõe ciclos fechados de produção, reduzindo resíduos e restaurando recursos. A Indústria 4.0, com integração físico-digital, potencializa práticas sustentáveis, embora ainda enfrente barreiras de adoção.

Metodologia

O estudo é qualitativo e de natureza bibliográfica (Gil, 2017), utilizando revisão narrativa (Stake, 2011; Casarin et al., 2020) para analisar a integração entre Lean, Indústria 4.0 e Economia Circular em contextos de sustentabilidade. Foram selecionadas publicações de 2019 a 2025 em bases de acesso aberto, considerando artigos, dissertações e livros completos. O processo foi estruturado em cinco etapas, resultando em 18 artigos que atenderam aos critérios definidos.

Análise e Discussão dos Resultados

A análise de 18 artigos mostrou convergência entre Lean, Indústria 4.0 e Economia Circular, indicando que tecnologias digitais facilitam modelos circulares e que o Lean reduz desperdícios e fortalece práticas sustentáveis. Observou-se evolução para lean green e digital green lean. Persistem divergências sobre o papel do Lean tradicional e falta de métricas integradas de sustentabilidade, limitando comparações e conclusões.

Considerações Finais

O estudo confirma a aproximação entre Lean, Indústria 4.0 e Economia Circular, destacando o papel das tecnologias digitais e a expansão do Lean para aspectos ambientais e sociais. Limitações como período analisado, foco em publicações abertas e heterogeneidade metodológica exigem cautela. Recomenda-se ampliar bases de dados, investigar contextos diversos e desenvolver métricas integradas para modelos híbridos sustentáveis.

Referências

SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. Tradução de Daniel Moreira Miranda. 1. ed. Barueri, SP: Edipro, 2016.
VELENTURF, Anne P. M.; PURNELL, Phil. Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, v. 27, p. 1437-1457, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>. Acesso em: 23 set. 2025.
WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1992. 347 p.

Palavras-Chave: Economia Circular / Lean Manufacturing / Indústria 4.0