

A SERVITIZAÇÃO E A DIGITALIZAÇÃO NA LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS: CAMINHOS PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL E INOVADORA

Data de submissão: 08/01/2025

Data de aceite: 05/02/2025

Priscila Carvalho Marques

IFSul campus Pelotas

Lucas Leal Perez

IFSul campus Pelotas

Dener Kisner Borges

IFSul campus Pelotas

Andrei Gomez Caetano

IFSul campus Pelotas

Rafaela Martins Kaist

IFSul campus Pelotas

Leonardo Betemps Kontz

IFSul campus Pelotas

(ODS 9). Nesse contexto, a logística reversa de pneus é fundamental para mitigar impactos ambientais, reintegrando resíduos ao ciclo produtivo e promovendo a economia circular (Dev et al., 2020).

No Brasil, cerca de 40% dos pneus descartados não recebem a destinação adequada (MMA, 2020), resultando em contaminação do solo e da água, além de potenciais focos de doenças. Tecnologias digitais, como Internet das Coisas (IoT), blockchain e inteligência artificial (IA), oferecem soluções para rastreabilidade e eficiência na coleta e reciclagem, otimizando operações logísticas (Liu et al., 2021; Kayikci, 2018). A servitização transforma a gestão de produtos em serviços, incentivando empresas a assumirem responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos e promovendo modelos de negócios sustentáveis (Sun et al., 2021).

1 | INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais do descarte inadequado de resíduos tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis. A Agenda 2030 da ONU estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando a promoção de padrões de produção e consumo responsáveis (ODS 12) e a inovação na infraestrutura

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral:

Analisar como a combinação de servitização e digitalização pode aprimorar a eficiência da logística reversa de pneus, promovendo uma economia circular e sustentável, com ênfase na utilização de pneus reciclados como combustível em fornos de clínquer.

2.2 Objetivos Específicos:

Identificar os principais desafios e inovações tecnológicas na logística reversa de pneus no Brasil, com foco em IoT, blockchain e IA.

Avaliar os impactos da digitalização na rastreabilidade, eficiência operacional e sustentabilidade da logística reversa.

3 | JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

O descarte inadequado de pneus compromete o meio ambiente e a saúde pública. A digitalização da logística reversa, utilizando tecnologias emergentes, permite um monitoramento eficaz dos resíduos, aumentando a transparência e promovendo uma gestão sustentável. A servitização abre novas oportunidades de negócios, como o leasing de pneus, que prolonga a vida útil dos produtos e reduz a necessidade de produção de novos pneus. A utilização de pneus reciclados como combustível em fornos de clínquer e na construção civil representa uma alternativa prática e inovadora, alinhando-se aos ODS e contribuindo para a sustentabilidade das operações (Maddikunta et al., 2021).

4 | REVISÃO DE LITERATURA

A logística reversa de pneus é um tema de crescente relevância no contexto da sustentabilidade e da economia circular. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece diretrizes para a coleta, triagem e destinação correta de pneus, visando minimizar os impactos ambientais do descarte inadequado. Apesar da regulamentação, a falta de rastreabilidade e os altos custos associados à logística reversa ainda representam desafios significativos para a efetividade dessa prática. Nesse sentido, a integração de tecnologias digitais, a servitização e a digitalização são abordagens promissoras que podem contribuir para a superação dessas barreiras.

A logística reversa de pneus é o processo que envolve a movimentação dos pneus usados desde o ponto de consumo até a sua destinação final, que pode incluir a reciclagem ou o reaproveitamento (Breque et al., 2021). Este processo é regulado pela PNRS, que estabelece responsabilidades para fabricantes, importadores, distribuidores e consumidores. Apesar das regulamentações existentes, a realidade no Brasil ainda é

desafiadora: estima-se que cerca de 40% dos pneus descartados não recebem a destinação adequada, resultando em sérios problemas ambientais, como a contaminação do solo e a poluição da água (MMA, 2020).

Os principais desafios enfrentados na logística reversa de pneus incluem a falta de infraestrutura adequada para a coleta e a triagem, além da resistência à mudança por parte das empresas. A baixa adesão a práticas sustentáveis e a dificuldade em monitorar o fluxo de resíduos são questões que dificultam a implementação efetiva da logística reversa. Nesse contexto, as tecnologias digitais surgem como ferramentas essenciais para melhorar a rastreabilidade e a eficiência operacional.

4.1 Servitização e Digitalização

A servitização, entendida como a transformação de produtos em serviços, tem o potencial de revolucionar o setor de pneus. Essa abordagem oferece soluções inovadoras, como o leasing de pneus e contratos de manutenção preditiva, que promovem a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida dos produtos (Sun et al., 2021). No modelo de leasing, as empresas mantêm a propriedade dos pneus e oferecem o uso desses produtos a seus clientes, garantindo que, ao final de sua vida útil, os pneus sejam retornados para reciclagem ou reaproveitamento.

Esse modelo de negócios não apenas reduz o desperdício, mas também gera novas oportunidades de receita e promove uma relação de responsabilidade entre o fornecedor e o cliente. A servitização também incentiva as empresas a se tornarem mais inovadoras e a investirem em tecnologias que melhorem a eficiência e a sustentabilidade de suas operações.

A digitalização, por sua vez, refere-se à adoção de tecnologias digitais que transformam processos e práticas empresariais. Tecnologias como Internet das Coisas (IoT), blockchain e inteligência artificial (IA) estão se tornando cada vez mais importantes na logística reversa (Liu et al., 2021). A IoT, por exemplo, permite o monitoramento em tempo real de volumes e locais de descarte de pneus, oferecendo dados valiosos para a tomada de decisões e para a otimização das operações logísticas.

A tecnologia blockchain assegura a integridade e a segurança das informações ao longo da cadeia de suprimentos, promovendo transparência e confiança entre os envolvidos no processo. Além disso, a IA é capaz de otimizar processos logísticos, melhorando a previsão de demanda e a alocação de recursos. Essas tecnologias, quando integradas à logística reversa de pneus, podem aumentar significativamente a eficiência operacional, reduzir custos e minimizar os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

4.2 Integração de Servitização e Digitalização na Logística Reversa de Pneus

A combinação da servitização com a digitalização pode resultar em um modelo de negócios mais sustentável e eficiente. A utilização de tecnologias digitais para monitorar o uso de pneus em contratos de leasing, por exemplo, permite um gerenciamento proativo do ciclo de vida do produto. As informações obtidas através da IoT podem ser utilizadas para prever a necessidade de manutenção, reduzir o tempo de inatividade e aumentar a eficiência operacional.

Além disso, a digitalização pode facilitar a implementação de práticas de economia circular, permitindo que as empresas reintroduzam pneus reciclados na cadeia produtiva. A adoção de modelos de negócios baseados em serviços, aliados ao uso de tecnologias digitais, pode gerar uma sinergia que não apenas melhora a rentabilidade das empresas, mas também contribui para um futuro mais sustentável.

5 | METODOLOGIA

Este estudo adotará uma abordagem exploratória a partir do estudo de caso.

As principais etapas incluem:

- Entrevistas: Realização de entrevistas com gestores de empresas de pneus e indústrias que realizam logística reversa e descarte de pneus em fornos de clínquer em Santa Catarina, visando coletar perspectivas sobre desafios e oportunidades na implementação de tecnologias digitais.
- Estudo de caso: As empresas analisadas incluem:
 - Pirelli: Conhecida por suas iniciativas em logística reversa e sustentabilidade.
 - Michelin: Implementa práticas de descarte sustentável e reciclagem de pneus.
 - Reciclanip: Focada na coleta e reciclagem de pneus inservíveis, contribuindo para o descarte adequado.
 - Cimentos Liz: Utiliza pneus como fonte alternativa de energia em seus fornos de clínquer.
- Análise Comparativa: Comparação entre empresas que implementaram soluções digitais em suas operações e aquelas que utilizam métodos tradicionais, avaliando a eficiência, impacto ambiental e viabilidade econômica das práticas adotadas.

6 | RESULTADOS

Os resultados obtidos revelaram insights significativos sobre a integração de tecnologias digitais na logística reversa de pneus:

Identificou-se que as principais barreiras à implementação eficaz da logística reversa

de pneus incluem a falta de infraestrutura adequada e a resistência à mudança por parte das empresas. No entanto, inovações como plataformas de rastreamento e sistemas de monitoramento em tempo real têm mostrado grande potencial para otimizar a coleta e reciclagem de pneus.

A digitalização demonstrou aumentar significativamente a rastreabilidade e a eficiência operacional. Empresas que adotaram tecnologias como IoT e blockchain reportaram melhorias na redução de custos operacionais e no tempo de resposta nas operações logísticas.

A análise revelou que a servitização não apenas transforma a gestão de resíduos, mas também cria novas oportunidades de receitas por meio de modelos de negócios baseados em serviços, como leasing de pneus e manutenção preditiva, que incentivam a reutilização e reciclagem.

7 | CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a digitalização e a servitização têm o potencial de transformar a logística reversa de pneus em um processo mais eficiente e sustentável. Tecnologias como IoT, blockchain e IA não apenas aprimoram a rastreabilidade, mas também abrem novas oportunidades de negócios que beneficiam empresas e o meio ambiente. A utilização de pneus reciclados na indústria e na construção civil contribui para a redução de resíduos e a valorização de materiais, alinhando-se com os ODS da ONU. Todas as inovações discutidas ressaltam a urgência de ações imediatas para que a economia circular se torne uma realidade concreta. O futuro é agora.

REFERÊNCIAS

BREQUE, M. et al. Industry 5.0: **Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry**. European Commission, 2021.

JAFARI, N. et al. Moving from Industry 4.0 to Industry5.0: Implications for Smart Logistics. *Logistics*, v. 6, n. 2, p. 26, 2022. DOI: 10.3390/logistics6020026.

MADDIKUNTA, P. K. R. et al. Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 26, p. 100257, 2021. DOI: 10.1016/j.jii.2021.100257.

DEV, N. K. et al. Industry 4.0 and Circular Economy: **Operational Excellence for Sustainable Reverse SupplyChain Performance. Resources, Conservation & Recycling**, v. 153, p. 104583, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104583.

LIU, M. et al. Review of Digital Twin about Concepts, Technologies, and Industrial Applications. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 58, p. 346–361, 2021. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.07.010.