

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

**PRISCILA CARVALHO MARQUES¹; LUCAS LEAL PEREZ²; DENER KISNER
BORGES³; ANDREI GOMEZ CAETANO⁴; RAFAELA MARTINS KAIST⁵,
LEONARDO BETEMPS KONTZ⁶**

¹IFSul campus Pelotas (Autor) - priscilacarvalhomarques@hotmail.com

²IFSul campus Pelotas (Co-Autor) - leallucas48@gmail.com

³IFSul campus Pelotas (Co-Autor) - denerborges91@gmail.com

⁴IFSul campus Pelotas (Co-Autor) - andreicaetano2002@gmail.com

⁵IFSul campus Pelotas (Co-Autor) - kaistrafaela@gmail.com

⁶IFSul campus Pelotas (Co-Autor e Orientador) - leonardokontz@ifsul.edu.br

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 (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).

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo Geral:

Analizar 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.
- Cementos Liz: Utiliza pneus como fonte alternativa de energia em seus fornos de clínquer.
- Análise Comparativa: Comparações 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.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 onEnabling Technologies and Potential Applications. *Journalof Industrial Information Integration*, v. 26, p. 100257, 2021. DOI: 10.1016/j.jiii.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 ofManufacturing Systems*, v. 58, p. 346–361, 2021. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.07.010.