

## LOGÍSTICA REVERSA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA DESTINAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS: UM ESTUDO DE CASO COM CATADORES E ESTUDANTES

REVERSE LOGISTICS AND ENVIRONMENTAL EDUCATION IN THE DISPOSAL OF END-OF-LIFE TIRES: A CASE STUDY WITH WASTE PICKERS AND STUDENTS

LOGÍSTICA INVERSA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA GESTIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO: UN ESTUDIO DE CASO CON RECICLADORES Y ESTUDIANTES

Carina Gondim Pereira<sup>1</sup>  
Luciana Otoni de Souza<sup>2</sup>  
Ronilson Freitas de Souza<sup>3</sup>

**RESUMO:** Este estudo analisa a destinação de pneus inservíveis em São Miguel do Guamá (PA), a partir de uma ação de Educação Ambiental realizada no Parque Ambiental Sapucaia, com a participação de catadores e estudantes do ensino fundamental e médio. A atividade foi desenvolvida em três etapas: discussão orientada sobre descarte inadequado, riscos ambientais e à saúde, responsabilidade compartilhada e logística reversa; aula de campo com abordagem teórico-prática sobre reaproveitamento, reutilização e destinação ambientalmente adequada; e aplicação de questionário com questões abertas e fechadas para avaliar percepções e aprendizagens. Os dados quantitativos foram organizados em percentuais, e as respostas discursivas foram analisadas de forma interpretativa. Os resultados indicam que a articulação entre Educação Ambiental, atividade de campo e problematização da logística reversa contribuiu para ampliar a compreensão dos participantes sobre os impactos do descarte inadequado e sobre alternativas de manejo responsável. O estudo evidencia o potencial de ações educativas contextualizadas para fortalecer a conscientização socioambiental e subsidiar estratégias locais de encaminhamento adequado de pneus inservíveis.

1

**Palavras-chave:** Logística reversa. Resíduos sólidos. Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** This study examines the disposal of end-of-life tires in São Miguel do Guamá, Pará, through an Environmental Education initiative carried out at Sapucaia Environmental Park, involving waste pickers and elementary and high school students. The initiative was organized into three stages: a guided discussion on improper tire disposal, environmental and public health risks, shared responsibility, and reverse logistics; a field-based class combining theory and practice, focused on reuse, repurposing, and environmentally sound disposal; and the administration of a questionnaire with open- and close-ended questions to assess participants' perceptions and learning. Quantitative data were summarized as percentages, while open-ended responses were analyzed interpretively. The findings indicate that integrating Environmental Education, field-based learning, and critical discussion of reverse logistics helped broaden participants' understanding of the impacts of improper disposal and of alternatives for responsible tire management. The study underscores the potential of contextualized educational initiatives to strengthen socio-environmental awareness and to inform local strategies for the proper management of end-of-life tires.

**Keywords:** Reverse logistics. Solid waste. Sustainability.

<sup>1</sup>Professora da SEDUC-PA. Especialista em Ciências da Natureza pela Universidade Federal do Piauí e graduada em Ciências com habilitação em Química pela Universidade do Estado do Pará.

<sup>2</sup>Professora da SECTEC-PA. Engenheira Sanitarista e Ambiental. Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido - PPGDSTU/ UFPA.

<sup>3</sup>Orientador: Professor curso de Licenciatura em Química da Universidade do Estado do Pará.

**RESUMEN:** Este estudio analiza la gestión de neumáticos fuera de uso en São Miguel do Guamá (PA), a partir de una acción de Educación Ambiental desarrollada en el Parque Ambiental Sapucaia, con la participación de recicladores y estudiantes de Educación Primaria y Secundaria. La actividad se estructuró en tres fases: una discusión guiada sobre la eliminación inadecuada, los riesgos ambientales y para la salud, la responsabilidad compartida y la logística inversa; una salida de campo con un enfoque teórico-práctico sobre el aprovechamiento, la reutilización y la gestión ambientalmente adecuada; y la aplicación de un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas para evaluar percepciones y aprendizajes. Los datos cuantitativos se organizaron en porcentajes, mientras que las respuestas discursivas se analizaron desde una perspectiva interpretativa. Los resultados indican que la articulación entre la Educación Ambiental, la actividad de campo y la problematización de la logística inversa contribuyó a ampliar la comprensión de los participantes sobre los impactos de la eliminación inadecuada y sobre alternativas de gestión responsable. El estudio pone de relieve el potencial de las acciones educativas contextualizadas para reforzar la concienciación socioambiental y orientar estrategias locales de gestión adecuada de neumáticos fuera de uso.

**Palabras clave:** Logística inversa. Residuos sólidos. Sostenibilidad.

## INTRODUÇÃO

A destinação de pneus inservíveis permanece como um problema socioambiental no Brasil, especialmente em municípios onde a logística reversa não se materializa de forma estável em pontos de coleta, armazenamento e retirada regular. A Resolução CONAMA nº 416/2009 estabelece obrigações aos fabricantes e importadores para coletar e dar destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis, prevendo, inclusive, a implantação de pontos de coleta e o atendimento de municípios sem ponto por sistemas locais e regionais (CONAMA, 2009). A Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como instrumentos para organizar o retorno de produtos e embalagens após o consumo e assegurar sua destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). No entanto, relatórios do IBAMA (2024) apontam que a efetividade desse sistema depende da capilaridade territorial e, sobretudo, do grau de adesão e da estruturação real dos fluxos de coleta e retorno, isto é, do que de fato é implementado e operado na prática.

Além da dimensão institucional, pneus são resíduos de longa permanência no ambiente quando manejados inadequadamente, e seus impactos não se limitam ao volume. No aspecto sanitário, o acúmulo de água em pneus descartados é reconhecido como fator associado à proliferação de vetores, com implicações para a saúde pública (BRASIL, 2016).

Do ponto de vista químico e ecotoxicológico, estudos recentes indicam que partículas e lixiviados do desgaste de pneus podem conter misturas complexas de contaminantes, combinando metais e aditivos orgânicos. Entre os metais, o zinco (Zn) é frequentemente

reportado como componente dominante, podendo ocorrer também cobre (Cu) e chumbo (Pb), variando conforme a composição do pneu e as condições de uso e lixiviação (MAYER et al., 2024). Na fração orgânica, são descritos compostos associados aos aditivos do elastômero, com destaque para o 6PPD (*N*-(1,3-dimetilbutil)-*N'*-fenil-*p*-fenilenodiamina) e seu produto de transformação 6PPD-quinona (6PPD-Q), formado por reação com ozônio e passível de lixiviação e transporte pelo escoamento superficial, com potencial de efeitos adversos em ambientes aquáticos (UNITED STATES, 2025). Além disso, trabalhos de monitoramento em águas de escoamento urbano reportam a presença de compostos-alvo derivados de pneus, como a *N,N'*-difetilguanidina (DPG) e a própria 6PPD-Q, reforçando a relevância ambiental do “coquetel químico” associado ao desgaste de pneus (CHALLIS et al., 2021).

No estado do Pará, essas vulnerabilidades tendem a se intensificar em razão de assimetrias territoriais, custos logísticos e fragilidades estruturais na gestão municipal de resíduos, reforçando a necessidade de articulação entre instrumentos de gestão e processos formativos.

Nesse contexto, a Educação Ambiental contribui para reduzir a distância entre norma e prática ao fortalecer a compreensão pública sobre riscos, responsabilidades e rotas de destinação, em consonância com a Política Nacional de Educação Ambiental, que a define como componente essencial e permanente, orientada à construção de valores, conhecimentos e competências voltadas à conservação do meio ambiente (BRASIL, 1999).

Essa mediação é mais consistente quando a Educação Ambiental é compreendida como práxis formativa e não como ação meramente informativa. Guimarães (2004) ressalta que a formação de educadores ambientais demanda superar reduções “conteudistas” e avançar para processos pedagógicos que articulem leitura crítica da realidade, participação e intervenção, o que é particularmente pertinente em temas de resíduos, onde o problema se apresenta no território e nas rotinas sociais. Nessa direção, Carvalho (2017) enfatiza a constituição do “sujeito ecológico”, isto é, a construção de disposições ético-políticas e modos de perceber/agir no mundo que se formam em experiências educativas concretas e contextualizadas, favorecendo deslocamentos de atitude frente a problemas cotidianos.

Além disso, a literatura brasileira tem destacado que a Educação Ambiental é atravessada por disputas de concepções e finalidades. Layrargues e Lima (2014) mapeiam macrotendências político-pedagógicas no campo, evidenciando que abordagens críticas buscam explicitar causas estruturais e assimetrias socioambientais, em contraste com práticas que

tendem a restringir-se à mudança comportamental individual. Loureiro e Layrargues (2013), ao aproximarem Educação Ambiental crítica e justiça ambiental, reforçam que processos educativos voltados a problemas concretos (como resíduos) ganham potência quando articulam conflitos, direitos, responsabilidades e participação social na governança ambiental.

No caso dos pneus inservíveis, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e sua regulamentação recente reforçam a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como bases para organizar o retorno pós-consumo e a destinação ambientalmente adequada, o que abre espaço para que o tema seja trabalhado na escola como um problema do território (BRASIL, 2010). Em contexto escolar, a Aprendizagem Baseada em Projetos tem sido apontada como estratégia pertinente para tratar pneus inservíveis de forma contextualizada e interdisciplinar, articulando Ciências e Geografia na investigação do entorno, na discussão de impactos e na proposição de encaminhamentos associados à realidade local (LIMA; COSTA JUNIOR; COSTA, 2025). Assim, ao abordar pneus inservíveis, a Educação Ambiental pode conectar marcos legais e governança local a processos de participação e formação crítica orientados à construção de rotinas comunitárias coerentes com a destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Parque Ambiental Sapucaia, localizado no município de São Miguel do Guamá, região Nordeste do estado do Pará.

O delineamento adotado foi o de estudo de caso, por investigar um fenômeno situado em um contexto real e delimitado, com foco na compreensão do problema em escala local (YIN, 2018). As ações envolveram a associação de catadores do município e estudantes do ensino fundamental e médio de duas escolas da cidade, a partir de uma intervenção educativa organizada em três momentos.

No primeiro momento, desenvolveu-se uma discussão orientada sobre o tema “descarte de pneus no meio ambiente”, abordando implicações do descarte inadequado, responsabilidades e noções de destinação ambientalmente adequada. Essa etapa foi alinhada ao marco legal da gestão de resíduos, considerando a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como instrumentos para o retorno pós-consumo e a destinação final adequada (BRASIL, 2010), e a Resolução CONAMA nº 416/2009,

que dispõe sobre a prevenção da degradação ambiental causada por pneus inservíveis e diretrizes para destinação ambientalmente adequada (CONAMA, 2009).

No segundo momento, realizou-se uma aula de campo no Parque Ambiental Sapucaia, combinando explicação teórica e demonstrações práticas de possibilidades de reaproveitamento, reutilização e reciclagem de pneus inservíveis, com exemplos observáveis e discutidos no local, como vasos, elementos decorativos, delimitação de trilhas, brinquedos e pisos. A escolha por aula de campo foi feita porque esse tipo de atividade favorece uma aprendizagem mais situada, em que o problema sai do plano abstrato e passa a ser observado e discutido no território, fortalecendo a sensibilização e a construção de sentido na Educação Ambiental (SOUZA; CREMER, 2016).

No terceiro momento, aplicou-se um questionário com questões fechadas e abertas, voltado a identificar aprendizagens percebidas, a compreensão sobre a importância do descarte correto e a percepção do papel da Educação Ambiental nesse processo.

Os dados das questões fechadas foram tabulados por frequências e percentuais. As respostas às questões abertas foram examinadas por análise qualitativa interpretativa, baseada em leitura integral do material, organização de sentidos recorrentes e interpretação das significações atribuídas pelos participantes, conforme orientações metodológicas para pesquisas sociais (MARCONI; LAKATOS, 2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

À luz do marco regulatório, os resultados evidenciam que a destinação de pneus inservíveis depende tanto de arranjos institucionais quanto de condições territoriais e de aprendizagem social. A Resolução CONAMA nº 416/2009 atribui obrigações a fabricantes e importadores e prevê a organização de pontos de coleta e sistemas locais/regionais de atendimento (CONAMA, 2009). Em escala mais ampla, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como instrumentos para viabilizar o retorno pós-consumo e a destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Apesar disso, relatórios oficiais indicam que o desempenho do sistema é condicionado pela capilaridade territorial e pela operacionalização efetiva dos fluxos na prática (IBAMA, 2024). Nesse sentido, o caso de São Miguel do Guamá evidencia a distância recorrente entre a prescrição normativa e o cotidiano local de manejo e descarte.

Durante a discussão inicial, os catadores demonstraram elevada participação e interesse, formulando perguntas sobre possíveis efeitos dos componentes dos pneus em plantas e potenciais repercussões à saúde humana. Esse tipo de preocupação é consistente com evidências recentes que apontam que partículas de desgaste e lixiviados associados a pneus podem conter misturas complexas de substâncias, incluindo metais pesados e compostos orgânicos ligados a aditivos, com potencial de efeitos ambientais e toxicológicos (CHIBWE et al., 2021; MAYER et al., 2024; KANG et al., 2025). No mesmo encontro, uma fala registrada, “os pneus quando descartados servem de criadouro para insetos transmissores de doenças, se tornando prejudicial à saúde e ao meio ambiente”, reforça o risco sanitário na percepção desse grupo, em alinhamento com comunicações de saúde pública sobre pneus expostos como potenciais criadouros por acúmulo de água (BRASIL, 2016).

Os dados percentuais evidenciaram diferenças entre públicos. Entre os catadores, 75% afirmaram conhecer os riscos do descarte indevido de resíduos pneumáticos, 17% declararam desconhecer e 8% não opinaram. Entre os estudantes do ensino fundamental e médio, 90% relataram não conhecer riscos e consequências do descarte inadequado, enquanto 10% não responderam. Esse contraste sugere, sobretudo entre estudantes, lacunas relevantes de informação e de compreensão sobre impactos e responsabilidades, o que reforça o papel da Educação Ambiental como mediação entre política pública e prática social, coerente com sua definição como componente essencial e permanente voltado à construção de valores, conhecimentos e competências (BRASIL, 1999).

A aula de campo no Parque Ambiental Sapucaia teve papel decisivo para aproximar o tema do território e ampliar repertórios de ação. A demonstração de alternativas de reaproveitamento e reutilização presentes no parque como vasos, decoração, delimitação de trilhas, brinquedos e pisos gerou interesse e levou os participantes a sugerirem encaminhamentos práticos para reduzir o descarte irregular. Contudo, tais alternativas foram discutidas no estudo como estratégias educativas e comunitárias de curto alcance, e não como substitutas da destinação ambientalmente adequada prevista nos marcos legais. Essa distinção é necessária, pois a literatura sobre pneus ressalta potenciais riscos ambientais associados a substâncias presentes em partículas e lixiviados (CHIBWE et al., 2021; MAYER et al., 2024; KANG et al., 2025), de modo que práticas de reutilização precisam ser acompanhadas por critérios de precaução e, sempre que possível, articuladas ao encaminhamento do resíduo às rotas formais de logística reversa (BRASIL, 2010; CONAMA, 2009; IBAMA, 2024). Assim, o

principal ganho observado na visita técnica foi pedagógico, tornar visível o problema, estimular a participação e conectar possibilidades de ação cotidiana às responsabilidades e fluxos previstos na política pública.

Os resultados indicam que a atividade realizada que contou com a discussão orientada, vivência no parque e aplicação de questionário contribuiu para ampliar a percepção de riscos e para fortalecer a compreensão sobre a necessidade de rotas formais de destinação. Em municípios com limitações de capilaridade e de comunicação pública sobre o fluxo reverso, ações educativas tendem a favorecer a adesão social e a reduzir o hiato entre norma e prática, especialmente quando articulam riscos sanitários e ambientais a responsabilidades e encaminhamentos coerentes com a PNRS e com a CONAMA 416/2009 (BRASIL, 2010; CONAMA, 2009; IBAMA, 2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação indica que a destinação de pneus inservíveis no município analisado não se resolve apenas por prescrição normativa. A efetividade da logística reversa depende de rotas de encaminhamento conhecidas e acessíveis, do reconhecimento público dos atores envolvidos e da consolidação de práticas sociais coerentes com a destinação ambientalmente adequada prevista na PNRS e na Resolução CONAMA nº 416/2009. Nesse sentido, a Educação Ambiental mostrou-se pertinente por incidir sobre um ponto crítico do processo, transformar responsabilidades e riscos em condutas cotidianas, aproximando estudantes e catadores de uma compreensão aplicada do problema e de alternativas de encaminhamento.

Conclui-se que ações educativas articuladas a serviços públicos e instituições locais podem reduzir a naturalização do descarte irregular e ampliar a adesão a rotinas de destinação. Recomenda-se, como encaminhamento, instituir um ciclo permanente de ações no município, com foco em: (i) comunicação pública clara sobre rotas formais e responsabilidades; (ii) orientações preventivas para evitar armazenamento que favoreça acúmulo de água e riscos sanitários; e (iii) articulação entre escolas, associação de catadores e gestão municipal para consolidar fluxos regulares de encaminhamento aos sistemas formais de logística reversa.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 abr. 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Mutirão recolhe pneus para eliminar criadouros do mosquito. Brasília, DF, 14 set. 2016.

CARVALHO ICM. Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico. São Paulo: Cortez, 2017.

CHIBWE L, et al. A deep dive into the complex chemical mixture and toxicity of tire wear particle leachate. 2021.

CHALLIS, J. K.; POPICK, H.; PRAJAPATI, S.; HARDER, P.; GIESY, J. P.; MCPHEDRAN, K.; BRINKMANN, M. Occurrences of tire rubber-derived contaminants in cold-climate urban runoff. *Environmental Science & Technology Letters*, Washington, v. 8, n. 11, p. 961-967, 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1 out. 2009.

GUIMARÃES M. A formação de educadores ambientais. Campinas: Papyrus, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Relatório de Pneumáticos 2024: Resolução Conama nº 416/09 2024 (ano-base 2023). Brasília, DF: IBAMA, 2024.

KANG J, et al. Tyre wear particles in the environment: sources, toxicity, and remediation approaches. *Sustainability*, 2025; 17(12): 5433.

LAYRARGUES PP, LIMA GFC. As macrotendências político-pedagógicas da educação ambiental brasileira. *Ambiente & Sociedade*, 2014.

LIMA, Andreia de; COSTA JUNIOR, Ismael Laurindo; COSTA, Michelle Budke. Educação Ambiental e Sustentabilidade: explorando a temática dos pneus inservíveis no Ensino Fundamental por meio da Aprendizagem Baseada em Projeto. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, v. 29, n. 2, p. 1-26, 2025

LOUREIRO, Carlos Frederico B.; LAYRARGUES, Philippe Pomier. Ecologia política, justiça e educação ambiental crítica: perspectivas de aliança contra-hegemônica. *Trabalho, educação e saúde*, v. 11, p. 53-71, 2013.

MARCONI MA, LAKATOS EM. Fundamentos de metodologia científica. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MAYER PM, et al. Emerging environmental impacts of tire wear particles. *Environmental Health*, 2024.

MAYER, P. M.; MORAN, K. D.; MILLER, E. L.; et al. Where the rubber meets the road: emerging environmental impacts of tire wear particles and their chemical cocktails. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 927, art. 171153, 2024.

SILVA AR, et al. Educação Ambiental e Sustentabilidade: explorando a reutilização de pneus inservíveis por meio da aprendizagem baseada em projeto. *Ambiente & Educação*, 2025.

SOUZA DM, CREMER MJ. A trilha ambiental interpretativa em uma unidade de conservação como ferramenta de sensibilização de escolares: uma abordagem quantitativa na rede municipal de ensino de Joinville, Santa Catarina. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 2016; 11(1): 94-109.

YIN RK. *Case study research and applications: design and methods*. 6. ed. Los Angeles: SAGE, 2018.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. Evaluating bioactivity of tire preservative, 6PPD, and its degradant 6PPD-quinone in a high throughput assay. Washington, DC: EPA, 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/chemical-research/evaluating-bioactivity-tire-preservative-6ppd-and-its-degradant-6ppd-quinone-high>. Acesso em: 28 fev. 2026.