

Aplicação de Resíduos em Infraestruturas Rodoviárias: um estudo bibliográfico

João Paulo Marçal de Souza

Graduando em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, joao.marcal@academico.ifpb.edu.br

Fabiana Araújo Maia

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, fabiana.araujo@academico.ifpb.edu.br

Jessica Duarte Ribeiro Vieira

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, jessica.duarte@academico.ifpb.edu.br

Mayara Silva Siqueira

Graduanda em Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, mayara.siqueira@academico.ifpb.edu.br

Hannah Dora de Garcia e Lacerda

Professora do curso de Engenharia Civil, IFPB, Patos, Brasil, hannah.lacerda@ifpb.edu.br

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo compilar e sintetizar a literatura brasileira existente sobre o uso de resíduos na pavimentação, com foco nos diferentes tipos de resíduos utilizados, seus benefícios e desafios, impacto ambiental e econômico, bem como inovações na área. A metodologia empregada consistiu de uma revisão bibliográfica abrangendo estudos publicados em periódicos na área de Infraestrutura de Transportes com qualis atual na grande área de Engenharias I, no período de 2018 a 2023. Esses estudos foram selecionados devido ao seu enfoque direto na temática da utilização de resíduos como componentes na construção de pavimentos, refletindo uma abordagem específica e relevante para a análise realizada. Os resultados obtidos na pesquisa evidenciaram que a incorporação de resíduos, seja na forma de agregados ou como adição no ligante, resultou em aumento da resistência aos esforços mecânicos e da adesividade das misturas asfálticas. Além disso, essa abordagem desempenhou um papel fundamental na redução dos gastos requeridos para a fabricação dessas misturas, ao mesmo tempo que promoveu benefícios ambientais significativos, pois reduz a necessidade de extração de recursos naturais, bem como a quantidade de resíduos em aterros. Dessa forma, a reutilização de materiais é uma prática altamente vantajosa que beneficia o meio ambiente e a sociedade como um todo, contribuindo para a sustentabilidade e a preservação dos recursos naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos Ecológicos, Sustentabilidade Urbana, Reaproveitamento de Materiais, Modificação do Cimento Asfáltico de Petróleo.

ABSTRACT: This study aims to compile and synthesize the existing Brazilian literature on the use of waste in paving, focusing on the different types of waste used, their benefits and challenges, environmental and economic impact, as well as innovations in the area. The methodology employed consisted of a bibliographic review covering studies published in journals in the area of Transportation Infrastructure with current qualis in the major area of Engineering I, from 2018 to 2023. These studies were selected due to their direct focus on the use of waste as components in sidewalk construction, reflecting a specific and relevant approach to the analysis carried out. The results obtained in the research showed that the incorporation of waste, either in the form of aggregates or as an addition to the binder, resulted in an increase in resistance to mechanical stress and in the adhesiveness of asphalt mixtures. In addition, this approach played a fundamental role in reducing the costs required to manufacture these mixtures, while at the same time promoting significant environmental benefits, as it reduces the need to extract natural resources, as well as the amount of waste in landfills. In this way, the reuse of materials is a highly advantageous practice that benefits the environment and society as a whole, contributing to sustainability and the preservation of natural resources.

KEYWORDS: Ecological Sidewalks, Urban Sustainability, Reuse of Materials, Modification of Petroleum Asphalt Cement.

1 INTRODUÇÃO

À medida que o mundo busca soluções para mitigar os impactos ambientais e promover práticas mais sustentáveis, diversos setores têm voltado sua atenção para a reutilização de resíduos. Dentre as diversas utilizações, destaca-se uma abordagem significativa que vem ganhando destaque na indústria da Construção Civil, especialmente no âmbito da pavimentação: a reutilização de resíduos. Este cenário representa não apenas uma resposta às crescentes preocupações ambientais, mas também uma oportunidade única para redefinir os padrões da infraestrutura rodoviária (Barros, 2015).

No contexto brasileiro, a regulação da gestão de resíduos sólidos é estabelecida pela Lei nº 12.305 (Brasil, 2010). Essa legislação, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é uma peça fundamental que define diretrizes e princípios para a gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos em todo o país. Representando um marco regulatório para a gestão ambientalmente correta do manuseio de resíduos sólidos, a legislação delinea de maneira precisa as diretrizes para o manejo de resíduos, incentivando práticas que visam à redução na geração, à reutilização, à reciclagem e à correta destinação final desses materiais. Ademais, a PNRS atribui responsabilidades aos diversos intervenientes ao longo da cadeia produtiva, desde os geradores até os encarregados pela coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos. Com foco na ideia de responsabilidade compartilhada, essa legislação estimula a cooperação entre os setores público, privado e a sociedade civil, almejando alcançar uma gestão dos resíduos sólidos que seja sustentável, contribuindo assim para a preservação do meio ambiente e a promoção da saúde pública (Brasil, 2010).

No âmbito da gestão de resíduos, é importante reconhecer que as indústrias não apenas têm responsabilidade sobre a geração de resíduos, mas também sobre seus produtos ao longo de todo o ciclo de vida, abrangendo desde a produção até o descarte final, o qual deve ser conduzido de maneira ambientalmente correta (Altoé; Sales; Martins, 2019).

De acordo com Souza, Soriano & Patino (2018), o crescimento contínuo e generalizado do uso de pavimentação, juntamente com a necessidade urgente de reduzir o consumo de recursos naturais e diminuir os custos de produção, tem estimulado a condução de estudos e pesquisas focados na incorporação de diversos tipos de resíduos na formulação de concretos alternativos destinados à produção de blocos utilizados em pavimentação. Como demonstrado nos estudos de Dyer et al. (2021); Ruiz, Cintho & Soweck (2020); e Sena Neto, Amorim & Ingunza (2019), dentre os resíduos comumente incorporados na pavimentação, destacam-se resíduos de construção e demolição, pneus reciclados, resíduos industriais e até mesmo plásticos reciclados. Esses materiais não apenas proporcionam uma alternativa economicamente viável, mas também contribuem para a diminuição do volume de resíduos depositados em aterros sanitários (Nunes, 2018).

Nessa abordagem, a utilização de resíduos na pavimentação transforma fundamentalmente o papel desempenhado pela indústria da construção civil no âmbito da construção de um futuro mais sustentável. Ao adotar essa prática, não apenas é possível enfrentar os desafios atuais relacionados à gestão ambiental, como também promover uma mudança significativa no modo como a engenharia concebe e executa projetos de infraestrutura, incorporando princípios fundamentais de sustentabilidade em cada etapa do processo construtivo. Dessa forma, além de responder às demandas urgentes de minimizar o impacto ambiental, essa abordagem também estabelece um novo padrão para a indústria da pavimentação, impulsionando a transição para práticas ecológicas e responsáveis (Costa Filho, 2017).

Ao considerar a sustentabilidade como ponto central, o objetivo principal deste estudo consistiu em investigar as diversas formas de utilização de resíduos na pavimentação, analisando os impactos ambientais, econômicos e técnicos, através de uma revisão narrativa da literatura. Para tanto, buscou-se avaliar a viabilidade e eficácia de diferentes tipos de resíduos, tais como resíduos de construção e demolição (RCD), pneus reciclados e resíduos industriais no desenvolvimento de materiais de pavimentação, contribuindo para a redução da demanda por materiais convencionais, a minimização de resíduos destinados a aterros sanitários e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção convencional de atividades ligadas à indústria da Pavimentação.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa é categorizada como uma revisão narrativa da literatura, adotando uma abordagem qualitativa e exploratória em conformidade com seus objetivos gerais. O principal propósito desta investigação é analisar e compreender as contribuições acadêmicas brasileiras disponíveis no período compreendido entre 2018 e 2023, com foco específico no contexto da incorporação de resíduos na pavimentação. Com esse propósito, a metodologia empregada neste trabalho foi segmentada em três fases distintas, sendo representadas através do fluxograma a seguir (Figura 1).



Figura 1. Fluxograma metodológico.

2.1 Pesquisa e revisão bibliográfica

A investigação abrangeu a análise de artigos científicos provenientes do contexto brasileiro, por meio das plataformas de periódicos da Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), do *Google Scholar* e do SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), os quais abordavam a aplicação de materiais não convencionais no âmbito da pavimentação rodoviária. O escopo da pesquisa também se estendeu à compreensão das características físicas e mecânicas inerentes a essas misturas modificadas. O exame detalhado desses documentos permitiu uma abordagem abrangente sobre a utilização de materiais inovadores e suas propriedades físicas específicas no desenvolvimento de soluções inovadoras para a pavimentação de vias.

2.2 Critérios de seleção

A escolha da delimitação temporal, que compreende o período de 2018 a 2023, foi feita com o intuito de fornecer uma visão atualizada e abrangente das discussões acadêmicas relacionadas ao emprego de resíduos na pavimentação. O enfoque recai sobre os diversos tipos de resíduos empregados, seus benefícios e desafios, o impacto ambiental e econômico, bem como as inovações nesta área. Esse período específico foi considerado crucial para capturar as mudanças e desenvolvimentos recentes que podem impactar significativamente a compreensão da estratégia abordada. Os materiais foram selecionados com base em critérios específicos, sendo restritos a artigos científicos brasileiros publicados em periódicos na área de Infraestrutura de Transportes com

avaliação qualis atualizada na grande área de Engenharias I, que abordassem discussões relacionadas ao estudo do uso de resíduos na construção de estradas e pavimentos.

2.3 Estruturação da informação

Após a conclusão da fase de seleção bibliográfica, foi realizado um processo detalhado de leitura e fichamento dos artigos previamente selecionados. A estruturação dos dados foi realizada por meio da elaboração de um quadro resumo, no qual foram incorporadas as informações provenientes das obras submetidas à análise. Em um segundo momento, essas informações foram submetidas a uma fase de interpretação aprofundada, visando à produção de significados subjacentes e à compreensão aprofundada dos elementos essenciais. Esse processo permitiu uma organização eficaz das informações, facilitando a compreensão e síntese das conclusões obtidas a partir da análise das obras em questão.

Aprofundando na análise qualitativa e adotando uma abordagem exploratória, este estudo busca contribuir para a construção de um conhecimento sólido sobre a incorporação de resíduos nas infraestruturas rodoviárias. O objetivo é fornecer elementos para a formulação de estratégias e políticas eficazes, com o propósito de mitigar os impactos ambientais e promover práticas mais sustentáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A incorporação de resíduos na pavimentação de estradas emerge como uma prática de alta relevância, destacando-se como uma estratégia inovadora e ecologicamente responsável para a construção de infraestrutura viária. Esta abordagem tem ganhado aceitação crescente tanto no âmbito econômico quanto no ambiental, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável. Sob essa ótica, a estratégia visa não apenas mitigar os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado desses materiais, mas também aprimorar as propriedades mecânicas e ambientais dos pavimentos asfálticos (Bernucci et al., 2022).

Esta prática vem adquirindo notoriedade no âmbito da construção civil, uma vez que o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pela geração de resíduos poluentes. Para a pavimentação asfáltica, diversos tipos de resíduos vêm sendo explorados com o intuito de reciclar aquilo que seria descartado. Ganha-se destaque os estudos realizados sobre a incorporação de resíduos poliméricos em substituição do ligante asfáltico comumente usado, assim como a utilização do mesmo para auxiliar no processo de mistura asfáltica, bem como materiais como resíduos de construção e demolição (RCD), fibras orgânicas, de vidro e micropoluentes (Balbo, 2007).

Diante do exposto, alguns estudos ganham notoriedade sobre o tema e se destacam pela riqueza em detalhes e possibilidade de auxiliar outros estudos acerca do tema. A se iniciar com Ruiz (2020) que realizou um estudo acerca da caracterização de misturas de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM) com resíduos de pneus inservíveis obtidos através de moagem de alta energia, obtendo o resultado de que o trabalho de moagem que fora realizado com os resíduos de pneu utilizando temperatura criogênica (temperaturas extremamente baixas) demonstrou alta eficiência, pois transformou as lascas de pneu em um material de granulometria fina. Essa moagem garantiu, como esperado, um aumento na qualidade das propriedades mecânicas do material. Outro estudo que também utilizou da premissa do pneu foi realizado por Altoé, Sales & Martins (2019), acerca de resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, que comprovou a eficiência do material e flexibilidade ao ser utilizado em diversas atribuições no tocante à práticas sustentáveis, demonstrando ser um material que vem a proporcionar um ganho de resistência, assim como a facilidade em sua utilização.

Em seu estudo acerca da reciclagem da ardósia na pavimentação, Antunes, Guimarães & Marques (2020) comprovaram que os resíduos desse mineral se tornam uma opção viável para a utilização na pavimentação, uma vez que apresentaram resultados satisfatórios quanto à resistência e desgaste da camada superficial. Dyer et al. (2019), por sua vez, delimitaram, em seu estudo “O emprego de resíduos de areia de fundição (RAF) em concreto asfáltico”, as questões acerca do reaproveitamento da areia de fundição para a substituição do pó de pedra, material este que vem sendo cada vez mais utilizado no âmbito da construção civil.

Diversos estudos visam a utilização de resíduos poliméricos na pavimentação, devido ao fato de que estes materiais proporcionam um ganho de resistência, aumentam a drenagem do pavimento e viabilizam

opções mais sustentáveis para esta prática construtiva, um exemplo de autores que tratam desta temática é Bastos et al. (2020), que desenvolveram um estudo sobre o uso de polímeros na camada de revestimento de pavimentos no município de Belo Horizonte, visto o tráfego da região, as condições climáticas, dentre outros pontos necessários nesta abordagem.

Santos & Santos (2018) e Santos et al. (2019) se destacam no tocante aos estudos na área de utilização de resíduos na pavimentação. Seus estudos estão focados na utilização de materiais alternativos na construção de pavimentos asfálticos; e na avaliação do efeito da adição de resíduo de ardósia no módulo de resiliência de misturas com solo argiloso. Ambos os estudos apontaram resultados positivos, constatando que a utilização de materiais alternativos gera, como benefícios, uma diminuição na quantidade de resíduos de construção, uma vez que estes são reutilizados, trazendo consigo sustentabilidade na construção civil, algo de tamanha importância. Assim como combinações contendo restos de ardósia apresentaram comportamento elástico e aderente semelhante a uma combinação convencional de solo e brita, em comparação com estudos mencionados em fontes. Os resultados indicam que um aumento na proporção de material pétreo contribui para um aumento no Módulo de Elasticidade, tornando a combinação mais rígida; estes estudos contribuem e enriquecem a área, sendo passíveis de utilização para auxiliar em estudos futuros na temática.

Oliveira & Faxina (2021) realizaram um estudo sobre a utilização de rejeitos de minérios de ferro como agregado mineral fino em misturas asfálticas, prática que vem para inovar o cenário, visto que os rejeitos de minérios são descartados e/ou pouco utilizados, resultando em um ganho de resistência referente ao desgaste causado pela umidade, aumento na força de tração e a melhoria da capacidade de adesão do material asfáltico aos agregados utilizados. Outras pesquisas, realizadas por Souza, Soriano & Patino (2018) e Sena Neto, Amorim & Ingunza (2019) acerca da utilização do concreto em práticas sustentáveis ganham notoriedade, uma vez que estes estudos demonstraram a eficácia da utilização deste material tão comumente utilizado no dia-a-dia no setor da construção civil, apresentando novas possibilidades de seu uso, aplicado em asfalto.

Visto isso, tais trabalhos contribuem positivamente para o âmbito de estudos acerca de pavimentos flexíveis permeáveis, assegurando àqueles que buscarem, um material de qualidade, com informações válidas e que agregam valor à escrita. Nessa perspectiva, a inserção de resíduos na pavimentação transcende a esfera meramente técnica, emergindo como um paradigma inovador que harmoniza as demandas da infraestrutura rodoviária com os imperativos da conservação ambiental e da eficiência econômica. Dessa forma, a adoção dessa prática não apenas reconfigura as abordagens convencionais na construção de estradas, como também assinala um compromisso tangível com um futuro mais sustentável e equitativo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como intuito entender o que foi produzido na literatura nos últimos cinco anos acerca da utilização de resíduos na indústria da pavimentação. Com os trabalhos levantados pelo estudo, percebeu-se uma tendência de analisar os efeitos da incorporação e adição de resíduos industriais como estratégia de destinação ambientalmente correta dos rejeitos gerados pelos serviços industriais. Para significância dessa ação, pode-se entender cinco grandes fatores que justificam a prática da utilização de resíduos na adição ou modificação dos materiais componentes da indústria da pavimentação, como os efeitos na sustentabilidade ambiental, fatores econômicos e de redução de custos, melhoria das propriedades das misturas asfálticas e estimulação a prática da economia circular.

Diante do exposto, conclui-se que a utilização de resíduos na pavimentação representa uma abordagem sustentável e ecologicamente correta na construção e manutenção de estradas. Tal prática garante benefícios tanto econômicos, quanto ambientais e sociais. A utilização de resíduos deve ser realizada considerando as características do resíduo, assim como as especificações técnicas para que seja garantida a segurança e durabilidade da estrada.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para realização da pesquisa e pagamento das bolsas do discente, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI/CNPq - edital nº 28/2023. À Diretoria de Pesquisa do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), à Coordenação de Pesquisa do IFPB - campus Patos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altoé, S. P. S., Sales, A., Martins, C. H. (2019) Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (pavers). *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 12 (1), p. 608-637.
- Antunes, M. A. das G., Guimarães, A. C. R., Marques, G. L. de O. (2020) Uma solução viável para a reciclagem de resíduos industriais de ardósia em pavimentação. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11 (4), p. 236-254.
- Balbo, J. T. (2007) *Pavimentação asfáltica - materiais, projetos e restauração*, Oficina de Textos, São Paulo, 558 p.
- Barros, K. S. (2015) Estudo de Cinzas Volantes de uma Termelétrica da RMF para Aplicação em Camadas Granulares de Pavimentos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, UFC, 144 p.
- Bastos, P. C. de L., Xavier, V. G. F., Silva, B. I. G., Barbosa, D. A. V., Vieira, L. D., Ferreira, B. C. S., Pinto, C de C. (2020) Alternativa de revestimento asfáltico para o Anel Rodoviário de Belo Horizonte – a viabilidade econômica e ambiental das pavimentações poliméricas. *Brazilian Journal of Development*, 6 (3), p. 16055-16079.
- Bernucci, L. B., Motta, L. M. G., Ceratti, J. A. P., Soares, J. B. (2022) *Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros*, 2 ed., ABEDA, Rio de Janeiro, 756 p.
- Brasil (2010). *Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 9 fev. 2024.
- Costa Filho, F. C. (2017) *Estudo de viabilidade técnica do uso de resíduos oriundos do beneficiamento de Scheelita na composição de concretos asfálticos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, 148 p.
- Dyer, P. P. O. L., Klinsky, L. M. G., Silva, S. A., Lima, M. G. D. (2021) O emprego de resíduos de areia de fundição (RAF) em concreto asfáltico: uma alternativa para a sustentabilidade na pavimentação. *Matéria*, 26 (1), e12952.
- Nunes, F. A. (2018) *Aplicação de asfalto modificado com polímeros*. Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, 29 p.
- Oliveira, I. C. S. de, Faxina, A. L. (2021) *Iron ore tailings as fine mineral aggregate in asphalt mixtures*. *Transportes*, 29 (4), p. 1-17.
- Ruiz, B. A., Cintho, O. M., Sowek, A. B. (2020) Caracterização de misturas de peuamm com resíduo de pneu obtidos através de moagem de alta energia. *Brazilian Journal of Development*, 6 (3), p. 9746-9759.
- Santos, R. L. R. dos, Camargo, V. A. F., Rodrigues, C. de S., Simões, G. F., Pereira, A. B. (2019) Avaliação do efeito da adição de resíduo de ardósia no módulo de resiliência de misturas com solo argiloso. *Transportes*, 27 (4), p. 145-158.
- Santos, R. T. F. dos, Santos, W. da C. (2018) Utilização de materiais alternativos na construção de pavimentos asfáltico. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*, 5 (1), p. 39-39.
- Sena Neto, P. G. D., Amorim, E. F., Ingunza, M. D. P. D. (2019) Análises de dosagens de concreto asfáltico do tipo Pré Misturado a Frio (PMF) utilizando Resíduos da Construção e Demolição de obras (RCD). *Matéria*, 24 (1), e12529.
- Souza, M. F. D., Soriano, J., Patino, M. T. O. (2018) Resistência à compressão e viabilidade econômica de blocos de concreto dosado com resíduos de tijolos cerâmicos. *Matéria*, 23 (1), e12203.