

Análise bibliométrica da produção científica mundial sobre o uso de plásticos de resíduos eletrônico em concretos

Bibliometric analysis of the global scientific production on the use of electronic waste plastics in concrete

Artur Borges Oliveira Souza, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

artur.borges.souza@gmail.com

Marcela Martins Carrara, Engenheira Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

marcelamartinscarrara@gmail.com

Aldo Ribeiro de Carvalho, Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto.

aldorcarvalho@outlook.com

Thaís Mayra de Oliveira, Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora.

thais.mayra@ufjf.br

Número da sessão temática da submissão – [03]

Resumo

O crescimento da geração de resíduos eletrônicos tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis para sua destinação. Nesse contexto, este estudo realizou uma análise bibliométrica das publicações científicas que investigam o uso de resíduos eletrônicos plásticos como componentes em concretos. Foram analisados 42 artigos publicados entre 2011 e 2025, considerando aspectos como distribuição temporal, geográfica, materiais e periódicos. Os resultados indicam aumento de estudos a partir de 2019, especialmente em países asiáticos, como a Índia, que concentra a maior parte das pesquisas experimentais. O uso dos resíduos eletrônicos como agregado graúdo foram mais recorrentes nas pesquisas experimentais. Os resultados evidenciam a relevância do campo de estudo da sustentabilidade na construção civil em vista dos aspectos socioeconômicos internacionais da atualidade.

Palavras-chave: Resíduos Eletrônicos; Concreto Sustentável; Agregados Reciclados; Plástico; Análise Bibliométrica

Abstract

The growing generation of electronic waste has driven the search for sustainable alternatives for its disposal. In this context, this study conducted a bibliometric analysis of scientific publications

investigating the use of plastic electronic waste as components in concrete. A total of 42 articles published between 2011 and 2025 were analyzed, considering aspects such as temporal and geographical distribution, materials, and journals. The results indicate an increase in studies from 2019 onwards, especially in Asian countries such as India, which concentrates most of the experimental research. The use of electronic waste as coarse aggregate was the most recurrent approach in experimental studies. The results highlight the relevance of sustainability research in construction, given the current international socioeconomic context.

Keywords: E-waste; Sustainable Concrete; Recycled Aggregates; Plastic; Bibliometric Analysis

1. Introdução

Em um cenário global voltado para o avanço tecnológico e consumismo, a alternativa de utilizar resíduos plásticos eletrônicos em recursos sustentáveis é vista como uma oportunidade concreta de unir inovação, engenharia e responsabilidade ambiental. Em países como a Índia, que gera cerca de 5,6 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano, os estudos envolvendo a reutilização desses subprodutos são crescentes e demonstram diversas possibilidades, incluindo sua implementação em materiais de construção (Sharma e Bansal, 2015).

A construção civil tem grande participação na economia brasileira, obtendo, em 2023, uma receita bruta total de, aproximadamente, 516 bilhões de reais (IBGE, 2024). O setor é responsável por gerar toneladas de resíduos sólidos todos os anos, onde a maioria desses resíduos são descartados de forma inadequada e sem preocupação com o meio ambiente (Júnior *et al.*, 2018). Sua influência, porém, não é resumida ao território nacional, uma vez que cerca de 50% de toda a matéria-prima e 36% da energia global final são consumidas pelo setor de edificações e construção, responsável também, por última instância, por 37% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) relacionados à energia (Tushar, Bari e Khan, 2022).

No setor da construção civil, o concreto é um dos materiais mais utilizados e também de grande impacto ambiental (Carvalho *et al.*, 2023). O cimento Portland é um dos principais insumos utilizados na produção de concreto, e é responsável por emissões de CO₂ na ordem de 2 bilhões de toneladas por ano (Carvalho *et al.*, 2023; Zeng *et al.*, 2025). Além do cimento, os agregados utilizados, como areia e brita, são obtidos em jazidas naturais, com métodos que geram impactos ambientais. A extração de areia, feita em leitos de rios ou cavas, causa a degradação de ecossistemas aquáticos, alterações hidrológicas, mudanças na velocidade do fluxo e profundidade dos rios, e, juntos, seus efeitos são geralmente cumulativos (Ashok, Varghese e Thampi, 2025). A extração de brita, por sua vez, gera a alteração e desflorestamento da vegetação local, ruídos intensos e vibrações que podem prejudicar a fauna, junto da emissão de poeira e partículas (Monteiro e Silva, 2018).

Alternativas para a substituição total ou parcial desses agregados já foram analisadas, como o pó de mármore (Neto *et al.*, 2023; Carvalho *et al.*, 2023), cerâmica vermelha (Junior *et al.*, 2024), cinza de bagaço de cana (Silva e Altoé, 2025) e, também, resíduos plásticos eletrônicos (Ullah *et al.*, 2022). Nesse aspecto, os resíduos plásticos eletrônicos, assim como os resíduos da construção civil, são descartados em quantidades expressivas. De acordo com dados

fornechos pela United Nations University (Baldé *et al.*, 2015), a quantidade aproximada de resíduos eletrônicos descartada em 2014 foi de 42 milhões de toneladas, e o valor do material intrínseco descartado foi estimado em 48 bilhões de euros, cujo valor do material era dominado pelo conteúdo de ouro, cobre e plástico. Além disso, os impactos ambientais causados pelo descarte desses detritos se estendem para diversos ecossistemas e por grandes períodos, devido ao longo tempo de decomposição do material.

Diante desse cenário, esse estudo tem como objetivo verificar, através de uma pesquisa bibliométrica, a produção científica que visem reaproveitar o plástico de resíduos eletrônicos (e-waste) na construção civil, especialmente em concretos. Para isso foi utilizado a base de dados Scopus e considerado, os anos 2011 e 2025.

2. Metodologia

Para a análise bibliométrica foram utilizados dados da plataforma Scopus, por ser a maior base de dados de artigos revisados por pares na área da construção e engenharia civil. (Carvalho *et al.*, 2025). A busca adotou os termos: *("plastic from e-waste" OR "electronic plastic waste" OR "e-waste derived plastic" OR ("plastic" AND "e-waste")) AND ("fiber" OR "aggregate") AND "concrete" AND NOT ("paste" OR "mortar" OR "geopolymer" OR "geopolymeric")*. Para ampliar o número de resultados, a busca foi realizada em inglês, uma vez que a maioria das revistas disponíveis na plataforma Scopus são de língua inglesa. A pesquisa limitou-se aos resíduos utilizados na fabricação de concreto, excluindo pastas, argamassas e geopolímeros.

A busca realizada pelas palavras-chave citadas utilizou a funcionalidade “título/resumo/palavra-chave” na base Scopus em 09/10/2025. As restrições adotadas foram:

- No filtro “Document type”, foi selecionada a opção “Limited to Article”, fornecendo somente artigos para a pesquisa. Além disso, no filtro “Publication stage”, foi selecionada a opção “Limited to Final”, de modo a obter somente artigos finalizados.
- Um total de 3 artigos foram desconsiderados por não atenderem à temática da pesquisa, sendo eles: *“Investigation of the effect of substituting conventional fine aggregate with PCB powder on concrete strength using artificial neural network”*, *“Efficiency of rapid repairing for composites and structural fibre-reinforced plastic waste aggregate concrete members”* e *“Influence of nano graphite platelets on the behavior of concrete with E-waste plastic coarse aggregates”*.
- Um total de 3 artigos foram desconsiderados por se tratarem de artigos de revisão. São eles: *“E-waste in concrete construction: recycling, applications, and impact on mechanical, durability, and thermal properties—a review”*, *“A compendious review on the influence of e-waste aggregates on the properties of concrete”* e *“Trends In The Use And Recovery Of Electronic Waste As Aggregates In Eco-Friendly Concrete”*.
- Um total de 6 artigos foram desconsiderados por falta de acesso, mesmo após contato com os autores, sendo eles: *“Performance of retrofitted eccentrically loaded GFRP-reinforced electronic waste concrete components having synthetic fibers”*, *“E-Waste As*

A Sustainable Coarse Aggregate Replacement In Concrete: Innovations And Applications”, “Performance Of E-Plastic Waste In Concrete For Sustainable Built Environment”, “Compressive and tensile strength studies on E-waste cement concrete with silica fume”, “Utilization of waste e plastic particles in cementitious mixtures” e “Utilization of electronic waste plastics in concrete – A way for green initiative”.

Ao todo, 42 estudos atenderam às restrições. Os artigos resultantes foram abertos e analisados individualmente, sendo catalogados, e seus dados bibliométricos foram apresentados e discutidos nas sessões seguintes.

3. Resultados

3.1. Número de publicações por ano

Os artigos resultantes da metodologia aplicada foram publicados em um intervalo de 2011 a 2025, permitindo avaliar o interesse no tema e tendências.

A **Figura 1** ilustra o gráfico de número de publicações a respeito do tema disponíveis.

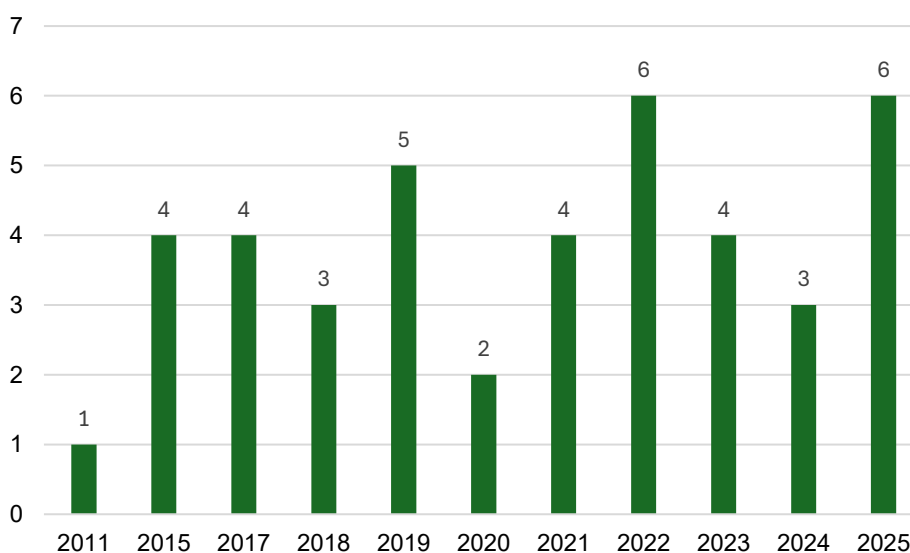


Figura 1: Número de artigos detectados por ano. Fonte: Autores (2025)

3.2. Principais fontes de publicação

O levantamento dos periódicos contribui para compreender de forma mais ampla a distribuição da produção científica, permitindo identificar os principais veículos de publicação, áreas temáticas predominantes e tendências de pesquisa que caracterizam o campo em

estudo. Ao todo, os 42 artigos presentes na pesquisa foram publicados em um total de 33 periódicos.

Das fontes de publicação dos artigos, 27 foram responsáveis pela publicação de 1 estudo, enquanto 6 publicaram 2 ou mais, sendo elas: “*International Journal of Civil Engineering and Technology*”, “*Journal of Building Engineering*”, “*Journal of Testing and Evaluation*” e “*Materials*”, com 2 publicações, “*Construction and Building Materials*”, com 3 publicações e “*Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*”, com 4 publicações.

A **Figura 2** mostra o número de artigos publicados por periódico referentes ao tema estudado.

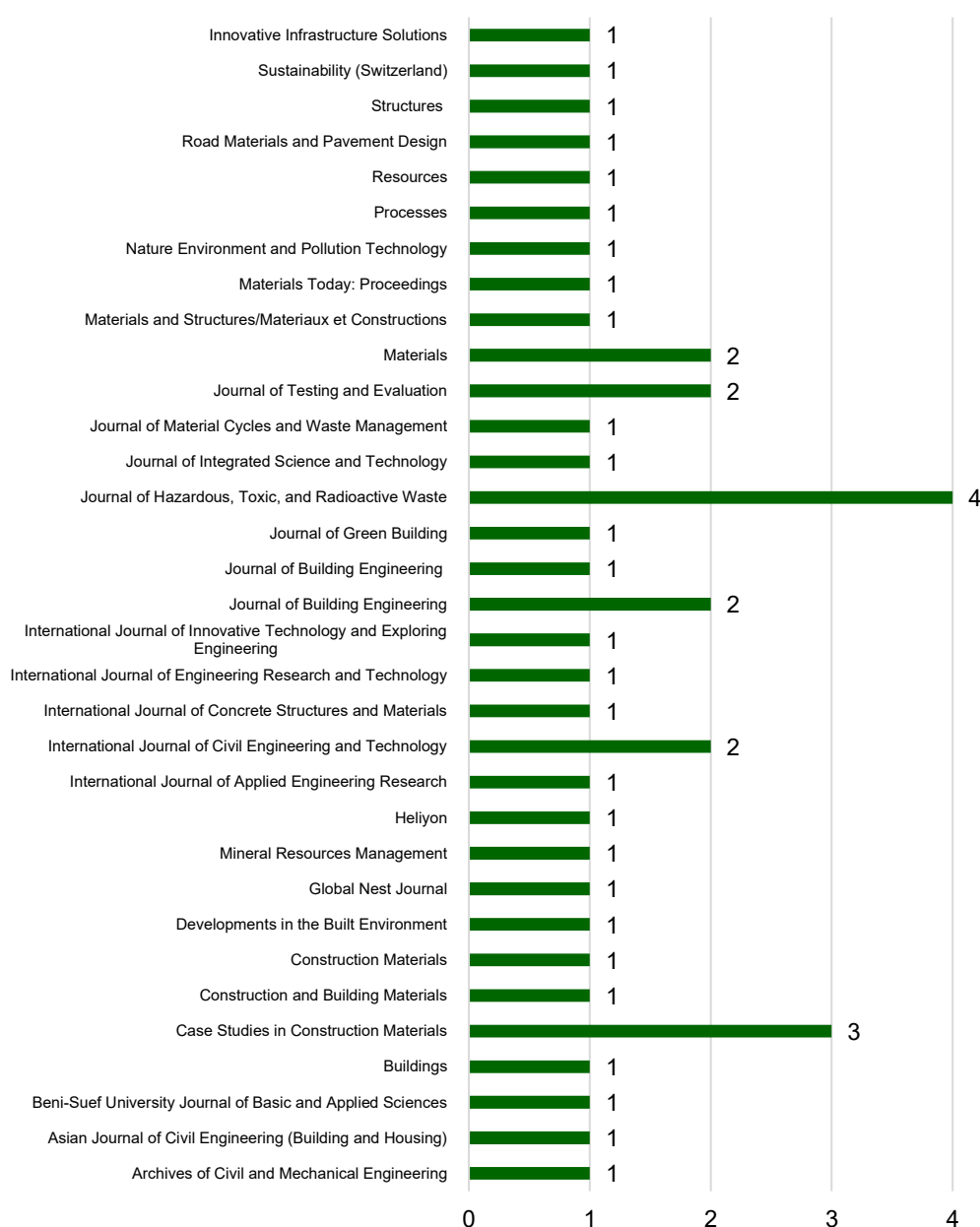


Figura 2: Número de artigos publicados por periódico. Fonte: Autores (2025)

3.3. Distribuição dos autores de acordo com seu país de afiliação

Para compreender a distribuição geográfica da produção científica sobre o tema, foi realizada uma análise do número de artigos publicados visto o país de origem dos autores. A **Figura 3** ilustra o gráfico do número de publicações de acordo com o país de filiação dos autores.

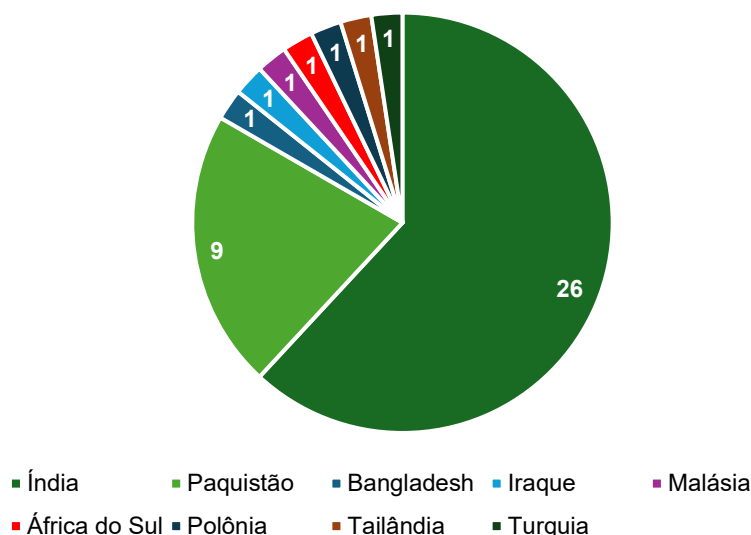


Figura 3: Distribuição dos autores de acordo com seu país de filiação. Fonte: Autores (2025)

3.4. Tipos de Materiais

Para compreender as formas de incorporação dos resíduos plásticos de eletrônicos no concreto, foi realizada uma análise dos tipos de materiais desenvolvidos nos estudos selecionados, com substituição parcial ou total do material pelo resíduo. Essa etapa permitiu identificar se os resíduos foram aplicados como agregado graúdo, areia de plástico ou fibra de plástico, evidenciando abordagens distintas para a análise do desempenho e a viabilidade do concreto com os materiais resultantes.

Nos artigos *“Evaluation of the effect of E-waste on the permeability properties of polymer concrete composites and their behavior in aggressive environments”* e *“Properties, durability and microstructure of concrete incorporating waste electrical and electronic plastics as partial replacement for aggregates in concrete”*, os resíduos plásticos foram utilizados tanto como areia de plástico quanto agregado graúdo, enquanto em *“Mechanical and Durability Properties of CCD-Optimised Fibre-Reinforced Self-Compacting Concrete”*, foram utilizados tanto como areia de plástico quanto fibra de plástico.

A **Figura 4** mostra a distribuição dos artigos de acordo com o material desenvolvido com os resíduos plásticos.

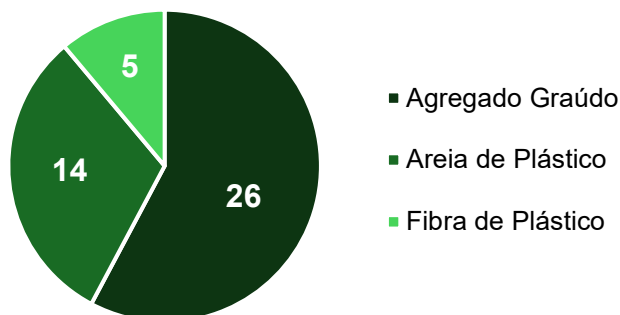


Figura 4: Distribuição dos artigos de acordo com o material desenvolvido durante o processo. Fonte: Autores (2025)

4. Análise dos Resultados e Discussões

Nota-se na distribuição temporal das publicações que há um aumento expressivo de estudos a partir de 2019, com picos entre 2021 e 2023. O crescimento coincide com a intensificação dos debates globais sobre a economia circular e sustentabilidade, fomentados por relatórios internacionais, como o “*Global E-waste Monitor 2020*”, que destacou a necessidade de novas abordagens sobre o lixo eletrônico (Forti, Baldé e Kuehr, 2020). Assim, o comportamento temporal observado reflete tanto a evolução do tema no campo científico quanto uma resposta da comunidade acadêmica às pressões ambientais associadas à reciclagem de resíduos eletrônicos na construção civil.

É possível observar que a dispersão dos 42 artigos entre 33 periódicos sugere que o tema é interdisciplinar. Todavia, a presença de múltiplos artigos em alguns periódicos mostram as revistas como polos de difusão científica e tecnológica no campo, sendo consideradas caminhos de publicação preferenciais para os estudos do tema.

Ao que tange à distribuição geográfica das publicações, é evidenciado que 95,24% dos estudos foram feitos em países asiáticos, com destaque na Índia. Isso pode ser decorrente da alta geração de resíduos eletrônicos nesses países, que foram responsáveis por cerca de 50% dos resíduos eletrônicos mundiais em 2019 (Forti, Baldé e Kuehr, 2020). Além disso, há uma demanda crescente por soluções sustentáveis para o reaproveitamento desses resíduos na construção civil, vista a urgência por abordagens acerca do acúmulo de detritos (Kumar *et al.*, 2024). Essa distribuição geográfica indica contextos socioeconômicos e ambientais cuja necessidade de políticas públicas voltadas à gestão de resíduos é um tema crescente e relevante.

Os resultados sobre os materiais desenvolvidos com a utilização parcial ou total dos resíduos eletrônicos plásticos apontaram para a predominância do agregado graúdo como a abordagem mais recorrente entre os estudos analisados, representando 57,78% do total. Essa preferência pode ser relacionada à viabilidade técnica e econômica do processo, uma vez que

os métodos para utilizar o resíduo plástico como agregados graúdos não exigem tratamentos complexos, além de ensaios de caracterização que demonstram manter propriedades mecânicas aceitáveis, e redução da densidade do concreto (Needhidasan, Ramesh e Prabu, 2020). Além disso, a incorporação como agregado miúdo requer procedimentos adicionais, como a moagem ou trituração, que podem impactar no custo e replicação (Sivanandam e Venkataraman, 2023). Portanto, a predominância do agregado graúdo como material nos estudos analisados é indicada pelo equilíbrio entre desempenho, logística de produção e menor impacto ambiental.

Por fim, dos 42 artigos estudados, apenas 1 estudo fez a análise do ciclo de vida dos materiais estudados. Esse resultado evidencia que grande parte das pesquisas sobre o tema ainda negligencia a quantificação dos impactos ambientais associados às tecnologias desenvolvidas. Em muitos casos, presume-se de forma incorreta que a simples reinserção do resíduo eletrônico plástico já implica benefícios ambientais, sem uma análise sistemática que comprove tal hipótese.

5. Considerações Finais

A análise bibliométrica realizada evidencia o crescimento consistente das pesquisas voltadas ao reaproveitamento de resíduos eletrônicos plásticos na construção civil, refletindo a preocupação internacional com a sustentabilidade. Observou-se que países asiáticos lideram a produção científica na área, como resultado de uma combinação entre alta geração de resíduos plásticos e o fortalecimento de políticas ambientais e programas de pesquisa voltadas à inovação em materiais sustentáveis.

Também se notou que há uma tendência ao equilíbrio entre economia e desempenho para o desenvolvimento dos materiais nos estudos detectados pela metodologia, porém com a ausência da análise do impacto ambiental posterior da tecnologia desenvolvida. Para um resultado sólido e satisfatório, deve-se considerar a avaliação completa do ciclo de vida dos materiais produzidos com o resíduo eletrônico plástico.

Em relação ao método de revisão adotado, salienta-se que se trata simultaneamente de uma limitação e de uma estratégia metodológica a restrição da análise a apenas uma base de dados, a Scopus. Embora seja compreensível que essa delimitação possa eventualmente excluir contribuições disponíveis em outras bases, a ampliação da busca para múltiplas bases pode tornar o processo de análise excessivamente amplo e de difícil execução. Outro ponto de atenção refere-se aos artigos indexados na Scopus que não puderam ser acessados. Ainda que esses aspectos não comprometam a representatividade geral das tendências observadas, tais limitações podem influenciar parcialmente a amplitude da literatura considerada.

Assim, este estudo atinge seu objetivo ao analisar o panorama das produções científicas que tratam da reutilização de plásticos provenientes de resíduos eletrônicos em concretos. Espera-se que este artigo contribua para a formulação de políticas voltadas ao reaproveitamento desses materiais, estimule o avanço tecnológico nessa área em

universidades e centros de pesquisa e, conseqüentemente, fortaleça a transição para uma construção civil mais sustentável.

Referências

ASHOK, L.; VARGHESE, G. K.; THAMPI, S. G. The conundrum of river sand mining and biodiversity conservation in Kerala, India. **The Extractive Industries and Society**, Setembro 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.exis.2025.101671>>. Acesso em: 09 Novembro 2025.

BALDÉ, K. et al. **The Global E-waste Monitor – 2014**. United Nations University. [S.l.]. 2015.

CARVALHO, A. R. D. et al. Influência do efeito fíler do pó de mármore na produção de concretos para pavimentos intertravados. **Ambiente Construído**, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212023000400700>>. Acesso em: 13 Novembro 2025.

CARVALHO, A. R. D. et al. Proposition of geopolymers obtained through the acid activation of iron ore tailings with phosphoric acid. **Construction and Building Materials**, 3 November 2023. 133078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133078>.

CARVALHO, A. R. D. et al. Exploratory literature review and scientometric analysis of artificial intelligence applied to geopolymeric materials. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Fevereiro 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.110210>>. Acesso em: 04 Novembro 2025.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R. **The Global E-waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential**. [S.l.]: [s.n.], 2020. Disponível em: <https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf>. Acesso em: 11 Novembro 2025.

IBGE. Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html>>. Acesso em: 04 Novembro 2025.

JÚNIOR, A. R. C. et al. Importância do gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. **Research, Society and Development**, Maio 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.17648/rsd-v7i10.437>>. Acesso em: 04 Novembro 2025.

JUNIOR, J. A. M. A. et al. Estudo da utilização do residuo de cerâmica vermelha como agregado graudo na composição do concreto. **Revista Caderno Pedagógico**, Maio 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-169>>. Acesso em: 04 Novembro 2025.

KUMAR, G. et al. Utilizing E-Waste as a Sustainable Aggregate in Concrete Production: A Review. **Buildings**, Agosto 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14082495?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26medium%3Darticle>. Acesso em: 11 Novembro 2025.

MONTEIRO, N. B. R.; SILVA, E. A. D. Environmental licensing in Brazilian's crushed stone industries. **Environmental Impact Assessment Review**, Julho 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.003>>. Acesso em: 09 Novembro 2025.

NEEDHIDASAN, S.; RAMESH, B.; PRABU, S. J. R. Experimental study on use of E-waste plastics as coarse aggregate in concrete with manufactured sand. **Materials Today: Proceedings**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.10.006>>. Acesso em: 11 Novembro 2025.

NETO, M. B. D. S. et al. **Análise do desempenho de concretos com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de pedras ornamentais**. VIII ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO. [S.l.]: [s.n.]. 2023.

SHARMA, R.; BANSAL, P. P. Use of different forms of waste plastic in concrete – a review. **Journal of Cleaner Production**, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.042>>. Acesso em: 04 Novembro 2025.

SILVA, J. P. D. J. D.; ALTOÉ, S. P. S. **Desempenho Mecânico e Durabilidade do Concreto com Substituição do Agregado Miúdo por Cinza de Bagaço de Cana**. V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS. [S.l.]: [s.n.]. 2025.

SIVANANDAM, G.; VENKATARAMAN, S. Mechanical and Durability Properties of CCD-Optimised Fibre-Reinforced Self-Compacting Concrete. **Processes**, Fevereiro 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr11020455?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26medium%3Darticle>.

TUSHAR, Z. N.; BARI, A. B. M. M.; KHAN, M. A. Circular supplier selection in the construction industry: A sustainability perspective for the emerging economies. **Sustainable Manufacturing and Service Economics**, Abril 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.smse.2022.100005>>. Acesso em: 05 Novembro 2025.

ULLAH, S. et al. Effect of partial replacement of E-waste as a fine aggregate on compressive behavior of concrete specimens having different geometry with and without CFRP confinement. **Journal of Building Engineering**, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104151>>. Acesso em: 13 Novembro 2025.

ZENG, Y. et al. Feasibility study on replacing ordinary portland cement with coal gangue-based geopolymer based on LCA and LCIA. **Materials Today Communications**, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.114189>>. Acesso em: 09 Novembro 2025.