

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PROPEC

Dissertação

Revisão bibliométrica e mapeamento dos resíduos mais utilizados em matrizes cimentícias no Brasil.

Carolina de Melo Nunes Lopes

Ouro Preto
2023



UFOP

Carolina de Melo Nunes Lopes

Revisão bibliométrica e mapeamento dos resíduos mais utilizados em matrizes
cimentícias no Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Data da aprovação: 28/02/2023

Área de concentração: Materiais e Construção

Linha de Pesquisa: Materiais e Componentes da Construção; Processos Construtivos e Sustentabilidade

Orientadora: Profa. D.Sc. Júlia Castro Mendes – UFOP

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L864r Lopes, Carolina de Melo Nunes.
Revisão bibliométrica e mapeamento dos resíduos mais utilizados em matrizes cimentícias no Brasil. [manuscrito] / Carolina de Melo Nunes Lopes. - 2023.
84 f.: il.: color., gráf., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Júlia Castro Mendes.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Área de Concentração: Estruturas e Construção.

1. Concreto - Matrizes Cimentícias. 2. Construção Civil. 3. Bibliometria - Análise Bibliométrica. I. Mendes, Júlia Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.01

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Carolina de Melo Nunes Lopes

Revisão bibliométrica e mapeamento dos resíduos mais utilizados em matrizes cimentícias no Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em 28 de Fevereiro de 2023

Membros da banca

Profa. D.Sc. Júlia Castro Mendes - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. D.Sc. José Maria Franco de Carvalho - (Universidade Federal de Viçosa)

Prof. D.Sc. Afonso Rangel Garcez de Azevedo - (Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro)

Profa. D.Sc. Júlia Castro Mendes, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 28/08/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Julia Castro Mendes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/02/2023, às 19:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0480890** e o código CRC **5F3A86D2**.

Agradecimentos

Aos meus pais, Leandro e Valéria, pelo suporte, carinho e incentivo. Não tenho palavras para expressar o quanto sou grata a vocês.

À minha irmã, Luciana, pela amizade e apoio. Agradeço a você pelas inúmeras portas que você abriu para mim ao longo da vida. Obrigada por tudo que você fez e faz por mim.

Ao Vinícius, pelo carinho e incentivo. Obrigada por estimular meu lado mais corajoso e apoiar minhas escolhas.

À minha amiga Priscila, pela amizade e por todo auxílio para que eu reingressasse na vida acadêmica.

Às minhas avós, Neli e Zélia (em memória), pela torcida.

À minha prima, Luísa (em memória), que me ensinou de forma muito dura que é preciso viver e não apenas existir.

À minha orientadora, Júlia, pelos ensinamentos, pela postura coerente e pela acolhida. As nossas aulas de metodologia e as oportunidades de discutir as falhas do nosso sistema acadêmico me deram esperança e foram essenciais para que eu tomasse a decisão de cursar o mestrado. Obrigada.

Aos pós-graduandos da Júlia, por todas as informações compartilhadas. Em especial ao Vítor e à Danielle pela grande contribuição nessa pesquisa e por todos os trabalhos que fizemos juntos.

Às amigas Ana Catharina, Isabela e Rayra, pela presença em minha vida, mesmo que os encontros físicos tenham se tornado cada vez mais raros.

À Universidade Federal de Ouro Preto, pela educação gratuita e de qualidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio financeiro indispensável para ciência brasileira.

A decisão de cursar o mestrado não foi fácil, mas foi possível devido ao apoio de todos vocês. Obrigada.

Resumo

Nos últimos anos houve um aumento de pesquisas relacionadas à incorporação de resíduos em matrizes cimentícias. No entanto, ainda que diversos estudos indiquem o grande potencial de reaproveitamento de resíduos no setor da construção, a aplicação prática dessas pesquisas ainda é incipiente. Diante disso, este estudo tem como objetivo investigar quais são os resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros que podem ser incorporados em matrizes cimentícias e onde eles se localizam, a fim de contribuir para políticas públicas e decisões institucionais para maximizar a sua reutilização. Inicialmente, os resíduos mais estudados foram identificados através de uma análise bibliométrica na base de dados Scopus. Essa análise incluiu trabalhos científicos de instituições brasileiras publicados de 2001 a 2022. O tratamento dos dados obtidos foi feito utilizando o *software* VOSviewer. Posteriormente, foram consultados dados públicos e privados para a identificação dos estados brasileiros em que esses resíduos são gerados. Com essas informações foram elaborados mapas do território brasileiro com a listagem de resíduos encontrados em cada estado. A pesquisa bibliométrica resultou em 1270 documentos e foram identificados 49 resíduos com pelo menos 2 menções em palavras-chave. Entre os resíduos mais citados nas publicações brasileiras estão os resíduos de construção e demolição, cinzas da casca de arroz, resíduos de vidro, borracha de pneu e bagaço de cana-de-açúcar. 16 dos 49 resíduos considerados são gerados em todo o Brasil, e, portanto, o desenvolvimento de tecnologias para reaproveitamento e reciclagem desses resíduos deveria ser priorizado. Também foram observados resíduos presentes na maioria dos estados brasileiros que são pouco estudados, como os resíduos de tinta e de lã de vidro. Há uma grande heterogeneidade na ocorrência desses 49 resíduos no território brasileiro. Portanto, este trabalho contribui para a elaboração de políticas públicas quanto à logística e investimentos relacionados ao reaproveitamento e reciclagem de resíduos no Brasil.

Palavras-chaves: Matrizes Cimentícias, Resíduos, Construção Civil, Mapeamento, Análise Bibliométrica.

Abstract

In recent years there has been an increase in research related to the incorporation of residues in cement-based composites. However, although several studies indicate the great potential of waste reuse in the construction sector, the practical application of these studies is still incipient. In this scenario, this study aims to investigate which are the most studied residues by Brazilian researchers when incorporated in cement-based composites and where they are located, in order to contribute to public policies and institutional decisions to maximize their reuse. Initially, the most studied residues were identified through a bibliometric analysis on the Scopus database. This analysis included scientific papers from Brazilian institutions, published from 2001 to 2022. The data obtained were processed using the VOSviewer software. Subsequently, public and private data were consulted to identify the Brazilian states where these residues are generated. From this information maps of the Brazilian territory were prepared with a list of residues found in each Brazilian state. The bibliometric search resulted in 1270 documents, and 49 residues with at least 2 citations in keywords were identified. Among the most cited residues in Brazilian publications are construction and demolition waste, rice husk ash, glass waste, tire rubber waste, and sugarcane bagasse. 16 of the 49 wastes considered are generated throughout Brazil. Therefore, the development of technologies for reusing and recycling these wastes should be prioritized. Residues present in most Brazilian states that are little studied were also observed, such as paint and glass wool residues. There is great heterogeneity in the occurrence of these 49 residues in Brazilian territory. Therefore, this study contributes to the development of public policies regarding logistics and investments related to the reuse and recycling of residues in Brazil.

Keywords: Cement-based composites, Residues, Civil construction, Mapping, Bibliometric analysis.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma da metodologia | 22 |
| Figura 2 – Número de publicações por ano | 26 |
| Figura 3 – Rede de citações de periódicos | 28 |
| Figura 4 – Rede de países em colaboração com o Brasil..... | 31 |
| Figura 5 – Coocorrência de palavras-chave | 33 |
| Figura 6 – Resíduos utilizados em matrizes cimentícias presentes em todo Brasil | 38 |
| Figura 7 – Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Sul | 54 |
| Figura 8 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Sudeste | 54 |
| Figura 9 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Nordeste..... | 55 |
| Figura 10 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Centro-Oeste..... | 57 |
| Figura 11 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Norte | 57 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Periódicos científicos com maior nº de citações | 29 |
| Tabela 2 – Países com publicações em colaboração com o Brasil | 32 |
| Tabela 3 – 49 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias..... | 35 |
| Tabela 4 – Lista completa dos 49 resíduos estudados por brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias agrupados por palavras-chave semelhantes | 81 |

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Introdução | 11 |
| 1.1 | Objetivo | 13 |
| 1.2 | Objetivos Específicos | 13 |
| 2 | Revisão Bibliográfica..... | 14 |
| 2.1 | O impacto da construção civil e a utilização de resíduos | 14 |
| 2.2 | Aspectos legais a respeito da incorporação de resíduos no Brasil..... | 16 |
| 2.3 | Os desafios da reutilização de resíduos | 18 |
| 2.3.1 | Desafios legais e fiscais | 18 |
| 2.3.2 | Desafios logísticos | 20 |
| 3 | Metodologia..... | 22 |
| 3.1 | Pesquisa bibliométrica | 22 |
| 3.2 | Identificação dos resíduos e mapeamento da ocorrência..... | 24 |
| 4 | Resultados | 26 |
| 4.1 | Análise bibliométrica..... | 26 |
| 4.1.1 | Número de publicações por ano | 26 |
| 4.1.2 | Principais fontes de publicação..... | 27 |
| 4.1.3 | Países em colaboração com o Brasil | 30 |
| 4.1.4 | Coocorrência de palavras-chave..... | 33 |
| 4.2 | Identificação dos resíduos mais estudados por brasileiros..... | 34 |
| 4.3 | Resíduos presentes em todo território brasileiro | 38 |
| 4.4 | Resíduos presentes em regiões/estados específicos..... | 42 |
| 4.4.1 | Resíduos Industriais..... | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.4.2 | Resíduos Geológicos | 49 |
| 4.4.3 | Resíduos Agrícolas | 51 |
| 4.4.4 | Mapas das regiões brasileiras com os respectivos resíduos | 53 |
| 5 | Considerações Finais..... | 58 |
| | Referências..... | 60 |
| | Apêndice A – Lista completa de resíduos..... | 81 |
| | Apêndice B – Publicações | 83 |

1 INTRODUÇÃO

Com um território de mais de 8,5 milhões de km² (IBGE, 2021), o Brasil é um país rico em recursos naturais, explorados por diferentes atividades econômicas. O Brasil se destaca nos setores de mineração (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2022), siderurgia (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2021), papel e celulose (IBA, 2021), calçados (ABICALÇADOS, 2021), e agricultura (OUR WORLD IN DATA, 2022). Essas indústrias geram um grande volume de resíduos e causam severos impactos ao meio ambiente e à sociedade.

O setor da construção civil também é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos. Estima-se que 30 a 40% do total de resíduos sólidos gerados no mundo sejam provenientes da construção e demolição de edifícios (AKHTAR e SARMAH, 2018). Somente em 2020, cerca de 47 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletados no Brasil (ABRELPE, 2021).

Além disso, o setor de construção civil é responsável por extrair volumes significativos de recursos naturais (UNEP, 2021; PIR, 2019). De acordo com o Panorama de Recursos Globais de 2019, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (2019), a extração de areia, brita e argila no mundo passou de 9 bilhões de toneladas em 1970 para 44 bilhões de toneladas em 2017, o que representou um crescimento substancial na extração de recursos naturais em escala global.

Em relação aos aglomerantes utilizados em matrizes cimentícias convencionais, os impactos ambientais e sociais podem ser ainda maiores. O processo de fabricação do cimento Portland contribui com aproximadamente 7% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono no mundo (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019). Grande parte dessas emissões ocorre no processo de produção do clínquer, obtido a partir da calcinação do calcário (SNIC, 2019). Por isso, diversos pesquisadores estão investigando formas de reduzir a proporção de clínquer no cimento, substituindo-o por materiais cimentícios suplementares (SCM – sigla em inglês) (SNIC, 2019).

Além da substituição do clínquer, diversas pesquisas científicas investigam a substituição dos agregados naturais do concreto por resíduos (BHARDWAJ e KUMAR, 2017; SAFIUDDIN, RAMAN e ZAIN, 2007). A utilização de resíduos em

matrizes cimentícias contribui para redução do impacto gerado pelo seu descarte, reduz as emissões de gases de efeito estufa e contribui para a preservação dos recursos naturais (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019).

No entanto, os diferentes resíduos que podem ser incorporados em matrizes cimentícias estão distribuídos de forma heterogênea no território brasileiro (SNIC, 2019). E a disponibilidade local de cada resíduo influencia fortemente na viabilidade de seu aproveitamento, juntamente com os custos e impactos ambientais de seu transporte.

Farinha *et al.* (2019), por exemplo, realizaram uma avaliação do ciclo de vida de 19 argamassas com incorporação de resíduos industriais em substituição à areia e/ou ao cimento. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que possibilita avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactos associados ao ciclo de um produto, processo ou serviço (FARINHA *et al.*, 2019). Os autores verificaram que a distância da origem dos resíduos até o local de produção das argamassas é um fator significativo para o impacto ambiental final das argamassas.

Segundo Souza *et al.* (2022), em Rio Branco, no Acre, há pouca disponibilidade de agregados convencionais e, por isso, os consumidores pagam um alto preço por esses materiais, que são transportados por balsas e estradas por mais de 300 km até a capital. Os autores investigaram a viabilidade da instalação de uma usina de reciclagem de RCD na região e concluíram que com a instalação da usina o preço dos agregados reciclados poderia custar até seis vezes menos que os agregados naturais.

Portanto, a localização e disponibilidade dos resíduos é um fator que deve ser investigado para atestar sua viabilidade de incorporação em matrizes cimentícias. Morato, Vaezi e Kumar (2019) e Scarlat *et al.* (2018), por exemplo, mapearam e quantificaram a disponibilidade de resíduos agrícolas na Bolívia e na Europa, respectivamente, a fim de avaliar o potencial de geração de energia por meio desses resíduos. No entanto, não se tem conhecimento de estudos que investigaram a disponibilidade de resíduos que podem ser incorporados em matrizes cimentícias.

Diante do exposto, este trabalho visa mapear os resíduos mais estudados no Brasil, que podem ser incorporados em matrizes cimentícias, a fim de maximizar seu reaproveitamento. Dessa forma, pretende-se contribuir para a fundamentação de

políticas de gestão de resíduos e facilitar o processo de tomada de decisão a respeito de investimentos públicos e privados.

Os resíduos considerados neste estudo foram identificados por meio de uma análise bibliométrica da literatura científica dos últimos 20 anos, no que diz respeito ao desenvolvimento de matrizes cimentícias que utilizam resíduos na sua composição. Para mapear a ocorrência desses resíduos, foram utilizados dados disponíveis de instituições públicas e privadas a respeito da produção industrial e disposição de resíduos no Brasil.

1.1 Objetivo

Este estudo tem como principal objetivo mapear os resíduos mais estudados no Brasil que podem ser incorporados em matrizes cimentícias, a fim de maximizar a sua reutilização e contribuir para o planejamento logístico de sua aplicação.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Identificar quais são os resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros que podem ser incorporados em matrizes cimentícias nas últimas duas décadas;
- Compreender a distribuição desses resíduos no território brasileiro;
- Entender quais estados brasileiros têm maior potencial de reaproveitamento de resíduos em matrizes cimentícias;
- Identificar tendências, lacunas e oportunidades de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O impacto da construção civil e a utilização de resíduos

O setor da construção civil tem um papel importante no desenvolvimento econômico e social de uma comunidade. Ao mesmo tempo, este setor é responsável por significativos impactos ambientais. Em 2020, a construção civil, juntamente com o uso e operação de edifícios, foram responsáveis por 37% das emissões de CO₂ no mundo (UNEP, 2021).

A indústria de cimento Portland, um dos materiais mais utilizados pela construção civil, contribui com cerca de 7% das emissões globais de CO₂ (SNIC, 2019). Estima-se que 60 a 70% dessas emissões ocorram no processo de formação do clínquer, devido à reação de calcinação do calcário (CaCO₃), que forma cal virgem (CaO) e libera CO₂ (SNIC, 2019). Além disso, a mineração de calcário, principal matéria-prima do cimento, pode gerar impactos ambientais como contaminação de aquíferos, mudanças nos padrões de uso da terra, alteração do ecossistema da região e aumento dos níveis de ruído e poluição por poeira (GANAPATHI e PHUKAN, 2020).

A construção civil também é responsável pela extração significativa de recursos naturais. Atualmente, 50 bilhões de toneladas de areia são extraídas por ano no mundo, uma média de 18 kg por pessoa por dia (UNEP, 2019). A extração da areia de rio pode causar alterações nas formas dos leitos dos rios, nas propriedades dos sedimentos, na qualidade e quantidade da água disponível, destruição da mata ciliar, bem como danos socioeconômicos (PADMALAL e MAYA, 2014). A exploração de brita também gera impactos ambientais como remoção da cobertura vegetal, contaminação de solos e de recursos hídricos, aumento do processo erosivo, poluição do ar, migração de animais da região e poluição sonora (LEITE *et al.*, 2017).

Além do impacto causado pela indústria cimenteira e pela extração de agregados, os resíduos gerados pela construção civil ocupam um grande volume nos aterros e, se dispostos de forma inadequada, contribuem para a sedimentação e erosão do solo (FARINHA *et al.*, 2019). Os RCD representam 30 a 40% do total de resíduos sólidos gerados no mundo (AKHTAR e SARMAH, 2018). Em 2020, cerca de 47 milhões de toneladas de RCD foram coletados no Brasil, o que corresponde a mais de 220 kg per

capita (ABRELPE, 2021). No mesmo ano, a região Sudeste, a mais populosa do país, foi responsável por mais da metade desses resíduos.

Diante dos impactos gerados pela construção civil, diversos pesquisadores estão buscando estratégias para tornar esse setor mais sustentável (FARINHA *et al.*, 2019). A incorporação de resíduos em matrizes cimentícias evita a exploração dos recursos naturais, diminui a demanda por cimento e reduz as emissões de CO₂ provenientes da construção civil (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019).

No Brasil, atualmente, 67% do cimento é composto por clínquer, em média (SNIC, 2019). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2019), as indústrias nacionais de cimento pretendem reduzir essa porcentagem para 59% em 2030 e para 52% em 2050. Alguns subprodutos industriais já são utilizados pelas cimenteiras como SCM, principalmente escória de alto-forno e cinzas volantes (SNIC, 2019). No entanto, o fato de esses resíduos estarem dispostos de forma heterogênea no território brasileiro dificulta a sua ampla utilização (SNIC, 2019).

Outros resíduos, como bagaço de cana-de-açúcar (ANDRADE NETO *et al.*, 2021), cinzas da casca de arroz (SIDDIKA *et al.*, 2021), lã de vidro (DEFÁVERI *et al.*, 2019), lodo das estações de tratamento de água (GODOY *et al.*, 2020), entre outros, têm forte potencial para serem utilizados como SCM pela indústria de cimento, mas, atualmente, ainda são pouco explorados. No entanto, há uma tendência do aumento de adições no cimento nos próximos anos, após a revisão da Norma Técnica do Cimento Portland – NBR 16697 em 2018 (ABNT, 2018). Segundo o relatório anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2020), houve um aumento de 4% no percentual de adições utilizados pela indústria entre 2017 e 2019.

Em relação à substituição de areia em matrizes cimentícias, estudos indicam a possibilidade da utilização de areia de fundição (BHARDWAJ e KUMAR, 2017), grits (resíduo da indústria de celulose) (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019), rejeito de barragem de minério de ferro - RBMF (FONTES *et al.*, 2016), entre outros. No entanto, também se observa uma baixa utilização destes subprodutos nas construções brasileiras. Por exemplo, somente por volta do ano de 2020 a Vale – mineradora multinacional que opera no Brasil – iniciou o processo de transformação do RBMF em areia de rio em escala industrial em algumas de suas minas (VALE, 2022).

A utilização de RCD como agregado para construção é uma estratégia amplamente estudada para reduzir os impactos da construção civil (SOUZA *et al.*, 2022; TAZI, IDIR e FRAJ, 2021). O uso de agregados reciclados contribui para a preservação dos recursos naturais e para mitigação dos impactos causados pela disposição desses resíduos. Ainda assim, apenas 16% do resíduo foi reciclado no Brasil em 2020 (ABRECON, 2022).

Diante do exposto, percebe-se que os impactos ambientais gerados pela construção civil são diversos e que muitos pesquisadores estão investigando formas de mitigar esses impactos. No entanto, ainda que várias pesquisas científicas tenham demonstrado tecnicamente a viabilidade de incorporação de resíduos em matrizes cimentícias, essas iniciativas por si só ainda não resultaram na reutilização desses resíduos em larga escala. Assim, torna-se necessário entender quais fatores ainda dificultam a ampla aplicação de resíduos em matrizes cimentícias no Brasil.

2.2 Aspectos legais a respeito da incorporação de resíduos no Brasil

No ano de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída no Brasil pela Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010). A PNRS determina as diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos no país (MMA, 2022). Entre os princípios e instrumentos da PNRS destaca-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020). Isso significa que toda a sociedade – fabricantes, importadores, comerciantes, consumidores, prestadores de serviços públicos de limpeza e empresas de gestão de resíduos sólidos – é corresponsável pela gestão dos resíduos (OLIVEIRA, LUNA e CAMPOS, 2019).

De acordo com a PNRS, a gestão dos resíduos sólidos deve adotar a seguinte ordem de prioridade: não-geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Nesse cenário, surge o conceito da economia circular, um modelo econômico que abrange técnicas e modelos de negócios para manter materiais e recursos dentro do ciclo econômico pelo maior tempo possível, evitando a geração de resíduos e o descarte de materiais (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020). No entanto,

segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente de 2022, essa prática ainda é incipiente no Brasil (MMA, 2022).

Em 2022, o Governo Federal publicou três decretos importantes para a gestão de resíduos sólidos no país – o Decreto nº 10.936 (BRASIL, 2022a), nº 11.043 (BRASIL, 2022b) e nº 11.044 (BRASIL, 2022c). O Decreto nº 10.936 atualizou a regulamentação da PNRS, aperfeiçoando alguns aspectos da lei. Um dispositivo importante criado por esse decreto foi a criação do Programa Nacional de Logística Reversa, integrado ao Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SNIR) e ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2022). O objetivo desse programa é maximizar o alcance dos resultados de diferentes sistemas de logística reversa no país. Já o SNIR tem como objetivo melhorar a comunicação com cidadãos a respeito de pontos de entrega voluntária de resíduos (BRASIL, 2022a).

O Decreto nº 11.043 instituiu o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece medidas e instrumentos para os avanços na gestão de resíduos sólidos no país (BRASIL, 2022b). Já o Decreto nº 11.044 criou o programa “Recicla +”, um certificado de crédito de reciclagem. Esse certificado é um documento que comprova que os agentes de reciclagem (cooperativas e catadores) deram a destinação correta a determinados resíduos recicláveis (com a nota fiscal da venda do material coletado). Dessa forma, instituições públicas ou privadas que precisam atender metas de logística reversa podem comprar créditos de reciclagem (BRASIL, 2022c).

Em relação aos resíduos da construção civil, a PNRS os define como “aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (BRASIL, 2010). Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2022), mais da metade dos RCD gerados no país são descartados de forma irregular, o que evidencia que a construção civil brasileira ainda tem um longo caminho a percorrer para alcançar um manejo sustentável de seus resíduos.

A reciclagem dos RCD é uma importante estratégia para se promover a economia circular na construção civil. Mas foi apenas em 2021 que a Norma Brasileira NBR

15116 (ABNT, 2021), que trata da utilização de agregados reciclados, permitiu a utilização desses resíduos em concretos estruturais, limitando em até 20% a substituição dos agregados convencionais.

Em relação à Norma Técnica Brasileira de Cimento Portland – NBR 16697 (ABNT, 2018), a partir da revisão de 2018, houve um aumento no uso de adições no cimento (SNIC, 2020; NATALLI *et al.*, 2021). Em 2017 a taxa de utilização de adições ao cimento era 27%, passando a 31% em 2019. De acordo com Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, até 2050 espera-se alcançar uma taxa de 48% de utilização de adições (SNIC, 2020). Para isso, é preciso investir em pesquisas a respeito de novas adições e em sistemas construtivos mais eficientes (SNIC, 2020).

2.3 Os desafios da reutilização de resíduos

As normas e legislações brasileiras estão evoluindo no sentido de permitir a incorporação de resíduos na construção civil – ainda que gradativamente. No entanto, a transição da construção civil para um modelo econômico mais sustentável ainda enfrenta desafios – principalmente desafios comportamentais, fiscais e operacionais.

Ainda há pouca aceitação por parte da sociedade (tanto clientes finais quanto prestadores de serviço de construção civil) em relação aos materiais de construção que utilizam resíduos (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020; CORREIA *et al.*, 2021). Além disso, faltam investimentos e incentivos fiscais que favoreçam o uso de materiais reciclados (COSENZA, ANDRADE e ASSUNÇÃO, 2020; OLIVEIRA, LUNA e CAMPOS, 2019). E, por fim, a extensão territorial brasileira também representa uma barreira na reutilização de resíduos, uma vez que os resíduos que podem ser incorporados em matrizes cimentícias estão distribuídos de forma heterogênea pelo país (SNIC, 2019).

2.3.1 Desafios legais e fiscais

De acordo com Hammes *et al.* (2020), no Brasil, as principais barreiras para a adoção da logística reversa na construção civil estão relacionadas à falta de investimento financeiro e à falta de incentivos fiscais. Segundo Cosenza, Andrade e Assunção (2020), o setor da reciclagem no Brasil, geralmente, é operado por pequenas

e médias empresas, além de algumas cooperativas. Ainda conforme os autores, são raros os investidores interessados na reciclagem de resíduos sólidos no Brasil.

Hossain *et al.* (2020) investigaram os desafios mundiais para implementação da economia circular na construção civil por meio de uma revisão bibliográfica. Os autores concluíram que o alto custo de materiais reciclados, a falta de padronização dos produtos e os poucos incentivos fiscais e econômicos são as principais barreiras para a adoção da economia circular na construção civil.

Em um estudo a respeito das barreiras para a adoção da economia circular no setor de construção da França, Tazi, Idir e Fraj (2021) concluíram que a principal barreira não é tecnológica ou ambiental, mas sim econômica. De acordo com os autores, enquanto o preço dos agregados naturais for equivalente ao preço dos agregados reciclados, dificilmente a circularidade no setor será alcançada.

Oliveira, Luna e Campos (2019) investigaram os principais desafios da logística reversa do EPS – poliestireno expandido – no Brasil e destacaram que o governo brasileiro falha ao incentivar a reciclagem e não isentar os produtos de reciclados de impostos, principalmente do imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS). Dessa forma, os impostos contribuem para o aumento do preço de materiais reciclados e desestimulam os investimentos nessa área (OLIVEIRA, LUNA e CAMPOS, 2019). Os autores concluíram que é necessário que haja maior integração entre as esferas públicas e privadas para adoção da economia circular no Brasil.

Em 2021, foi promulgada no Brasil a Lei nº 14.260 (BRASIL, 2021) que estabelece incentivos à indústria da reciclagem. No entanto, quando sancionada pelo Presidente da República à época, diversos artigos foram vetados. Em 2022, parte desses vetos foram derrubados pelo Congresso Nacional, restaurando artigos que tratam da dedução no imposto de renda para apoio a projetos de reciclagem previamente aprovados pelo Ministério do Meio Ambiente (AGÊNCIA SENADO, 2022). Assim, pessoas físicas poderão deduzir até 6% no imposto de renda se apoiarem projetos de reciclagem. Já as pessoas jurídicas poderão deduzir até 1%. Esse dispositivo é semelhante ao que ocorre na área da cultura com a Lei Rouanet (AGÊNCIA SENADO, 2022).

Outro dispositivo importante da Lei 14.206/2021 é a criação de uma Comissão Nacional de Incentivo à Reciclagem (CNIR), que terá a função de estabelecer diretrizes para as atividades de reciclagem, além de acompanhar e avaliar os incentivos previstos pela lei (BRASIL, 2021). Portanto, com a criação dessa comissão e com os incentivos tributários previstos na lei, é provável que nos próximos anos haja um aumento de ações voltadas para a reciclagem de resíduos no Brasil.

2.3.2 Desafios logísticos

A incorporação de resíduos em matrizes cimentícias é uma possível solução para mitigar os impactos da construção civil e da disposição de resíduos (PANESAR, KANRAJ e ABUALROUS, 2019). No entanto, essa substituição deve ser feita de forma cuidadosa, uma vez que o processo de reutilização/reciclagem pode gerar impactos ambientais relacionados ao reprocessamento e ao transporte dos resíduos (FARINHA *et al.*, 2019).

Devido à relevante contribuição do transporte para o custo e impacto ambiental dos materiais de construção civil, é necessário conhecer a distância de transporte que viabiliza a incorporação de resíduos em matrizes cimentícias (ZULCÃO *et al.*, 2020). Zulcão *et al.* (2020) fizeram uma avaliação de ciclo de vida do uso de resíduo de rochas ornamentais em matrizes cimentícias e concluíram que o uso do resíduo só é viável se a distância de transporte do resíduo for menor que a dos materiais convencionais disponíveis.

Samantha *et al.* (2020) desenvolveram um sistema de logística reversa para utilização do rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) em infraestrutura rodoviária no Brasil. Os autores modelaram um sistema para transportar o rejeito da mina para uma planta de processamento e, posteriormente, para o canteiro de obras de uma rodovia. Os autores concluíram que, para a utilização do RBMF ser vantajosa em comparação com o custo da areia, a distância de transporte (por caminhões) da planta de processamento do rejeito até o canteiro de obras não deve ultrapassar 290 km.

Panesarm Kanraj e Abualrous (2019) desenvolveram um modelo de avaliação do ciclo de vida e um modelo de custo do ciclo de vida para avaliar os benefícios e/ou impactos ambientais e econômicos de concretos contendo cinzas volantes em substituição ao cimento. Os autores analisaram quatro traços contendo 0%, 25%, 35% e 50% de cinzas volantes e correlacionaram a porcentagem de substituição com o transporte do resíduo por caminhões (até 1000 km). Para ambas as análises, o traço de concreto com 35% de cinzas volantes apresentou a menor distância que torna o uso do resíduo vantajoso. Os autores concluíram então que a porcentagem de substituição do cimento não é o único fator que deve ser considerado nas análises de sustentabilidade de um material do ponto de vista ambiental e econômico.

No contexto brasileiro, os desafios logísticos da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias estão relacionados à dimensão continental do país e às diferenças regionais (SNIC, 2019). Sellitto e Almeida (2019) estudaram a geração e destinação de resíduos de seis indústrias brasileiras da Região Sul do país, a fim de apresentar estratégias para recuperar o valor remanescente nos resíduos gerados. Os autores concluíram que o alto custo logístico relacionado à reciclagem e reaproveitamento dos resíduos é um dos fatores que dificulta a recuperação do valor remanescente nos resíduos gerados pelas indústrias.

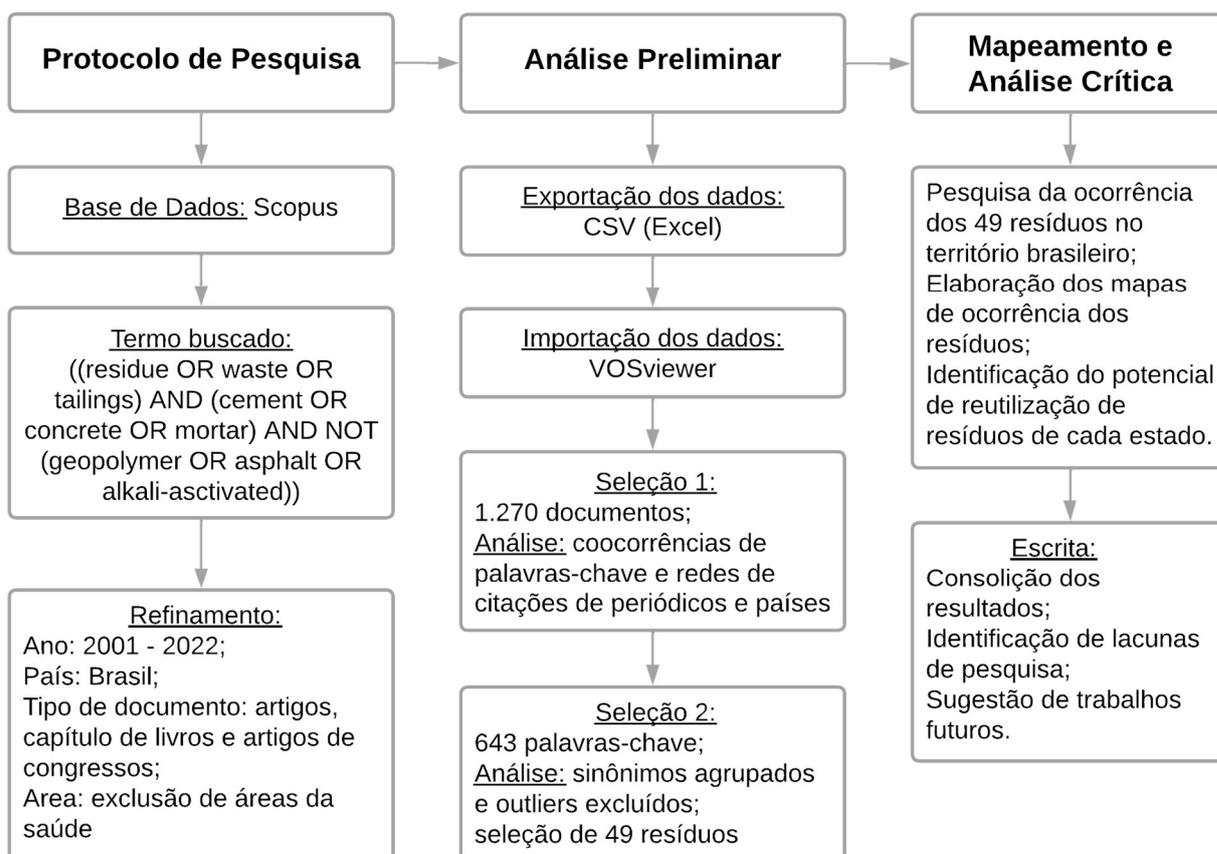
De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2020), a produção de cimento se dá de forma heterogênea no Brasil. Em 2020, a região Sudeste foi responsável por 47% da produção nacional, a região Nordeste por 21%, a região Sul por 17%, a região Centro-Oeste por 11% e a região Norte por 4%. Portanto, o potencial de utilização de resíduos em matrizes cimentícias deve ser avaliado à luz das diferenças regionais brasileiras, para que políticas públicas mais assertivas possam ser elaboradas para cada região (SNIC, 2019).

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa bibliométrica

A Figura 1 mostra o fluxograma da metodologia da pesquisa. Primeiramente, foram levantados estudos relacionados ao reaproveitamento de resíduos em matrizes cimentícias publicados por instituições brasileiras nos últimos 20 anos na base de dados Scopus. Em seguida, foi realizada uma análise bibliométrica dessas publicações e foram extraídos os resíduos mais citados nas palavras-chave definidas pelos autores. Por fim, os estados brasileiros de origem desses resíduos foram identificados, e os resíduos foram mapeados. Optou-se por apresentar os resultados do mapeamento conforme as cinco macrorregiões brasileiras: Sul, Sudeste, Nordeste, Centro-oeste e Norte.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia



Fonte: elaborado pela autora.

Os dados bibliométricos analisados neste estudo foram coletados na base de dados Scopus. Segundo Wuni, Shen e Osei-Kyei (2019), tanto a Web of Science quanto a Scopus são plataformas adequadas para extração de dados bibliométricos. No entanto, segundo Meho e Rogers (2008), a Scopus abrange mais publicações, o que torna essa base mais amplamente utilizada. Li *et al.* (2022), Ahmad *et al.* (2021) e Wuni, Shen e Osei-Kyei (2019) também utilizaram a plataforma Scopus em seus estudos bibliométricos.

O conjunto de termos utilizado na busca foi: “((*residue OR waste OR tailings*) AND (*cement OR concrete OR mortar*) AND NOT (*geopolymer OR asphalt OR alkali-activated*))”. A busca foi realizada em inglês uma vez que a grande maioria das revistas indexadas na plataforma Scopus é de língua inglesa. A pesquisa limitou-se aos resíduos utilizados apenas na fabricação de matrizes cimentícias, excluindo geopolímeros, matrizes álcali-ativadas e matrizes asfálticas. Não houve limitações quanto à forma de utilização (por exemplo, como aglomerante, agregado, fibra ou adição mineral).

A busca por essas palavras-chave foi realizada por meio da funcionalidade “título/resumo/palavra-chave” da base Scopus em 12/12/2021. Algumas restrições adotadas foram:

- A busca foi realizada a partir do “ano de publicação” 2001;
- Foram incluídos artigos de 2022 que já estavam disponíveis na data da pesquisa;
- O campo “país/território” foi limitado ao Brasil;
- No “tipo de documento”, foram selecionados artigos, capítulos de livros e artigos de congressos. Artigos de revisão não foram considerados, pois o objetivo deste estudo limitou-se a analisar publicações originais a respeito da aplicação de resíduos em matrizes cimentícias.

Diferentemente dos estudos de Wuni, Shen e Osei-Kyei (2019) e de Afgan e Bing (2021), a “fonte da publicação” (periódico de origem) não foi limitada. Já em relação à “área/disciplina”, artigos de áreas não-afins, como odontologia, por exemplo, foram excluídos. É importante ressaltar que os estudos resultantes desta pesquisa bibliométrica limitam-se aos termos buscados e aos critérios adotados – não foi levado

em consideração o mérito científico ou as métricas de citações dos artigos selecionados.

No total, 1.270 estudos atenderam a todas as restrições. Os dados bibliométricos foram baixados no formato “*Comma-Separated-Values (.csv)*” e importados para o *software* VOSviewer (versão 1.6.15). O VOSviewer é uma ferramenta gratuita, de código aberto, que permite visualizar e analisar redes de publicações científicas para o mapeamento científico da literatura (WUNI, SHEN e OSEI-KYEI, 2019). Após a exportação dos dados para o *software*, diferentes redes foram criadas e analisadas, como redes de coocorrência de palavras-chave, de citações de periódicos e de países de origem das publicações.

3.2 Identificação dos resíduos e mapeamento da ocorrência

As palavras-chave dos autores dos estudos resultantes da pesquisa bibliométrica foram analisadas no *software* VOSviewer e utilizadas para identificar os resíduos mais estudados nos 1.270 trabalhos selecionados. Após limitar as palavras-chave a pelo menos 2 ocorrências, 643 palavras foram obtidas. Em seguida, as palavras-chave foram analisadas individualmente a fim de verificar quais delas estavam de fato relacionadas a resíduos. Termos semelhantes foram agrupados e termos que não permitiam a identificação clara do resíduo, como "resíduos", "rejeitos", "cinzas", "resíduos sólidos industriais", "resíduos de mineração", "resíduos orgânicos", "escória", "águas residuais", ou "lodo", foram desconsiderados.

Foram excluídos alguns resíduos que foram inicialmente identificados na pesquisa bibliométrica, mas, que após uma investigação minuciosa, observou-se que não eram aplicados em matrizes cimentícias. Um exemplo é o rejeito da mineração de ouro, que passou pelos filtros da seleção, mas só foi utilizado na compactação de solo para construção de estradas, portanto sendo desconsiderado desse estudo. Por fim, 49 resíduos com potencial de aplicação em matrizes cimentícias foram identificados.

Para mapear a ocorrência desses resíduos no território brasileiro, foram utilizados dados disponibilizados por instituições públicas e privadas, como os do Ministério do Meio Ambiente e da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e

Resíduos Especiais (ABRELPE). A partir da identificação dos locais de geração dos resíduos, foram elaborados mapas com a listagem de resíduos que podem ser encontrados em cada estado. O design desses gráficos foi feito pelo Eng. Vítor Freitas Mendes utilizando o *software* Adobe Illustrator. Para facilitar a análise, os resultados foram divididos pelas cinco macrorregiões brasileiras.

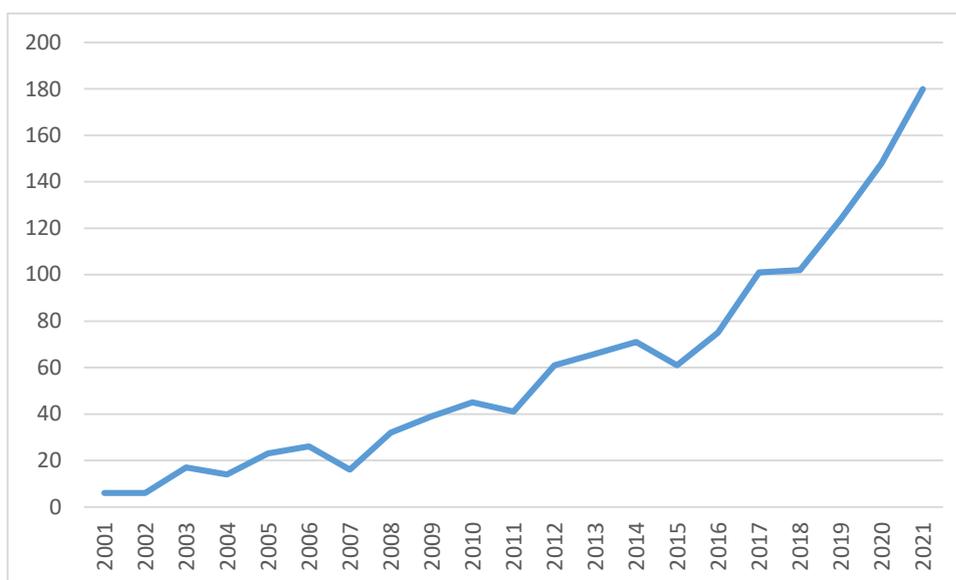
4 RESULTADOS

4.1 Análise bibliométrica

4.1.1 Número de publicações por ano

Após a busca realizada na plataforma Scopus, utilizando os termos e restrições detalhados na metodologia deste estudo, 1270 documentos foram obtidos. A Figura 2 ilustra o gráfico de número de publicações a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias de 2001 a 2021. O ano de 2022 não foi incluído neste gráfico, pois a busca dos artigos ocorreu em 12/12/2021. Nesta data, apenas 16 artigos com data de 2022 haviam sido publicados.

Figura 2 – Número de publicações por ano



Fonte: elaborado pela autora com base nos dados extraídos da plataforma Scopus.

É possível observar um crescimento no número de publicações por ano, principalmente na segunda década analisada – 2011 a 2021. Essa mesma tendência foi observada por Ahmad *et al.* (2021), que realizaram uma pesquisa bibliométrica a respeito da incorporação de resíduos exclusivamente em concreto nas últimas duas décadas. O crescimento contínuo observado entre os anos de 2011 e 2014 pode ter sido impulsionado pela promulgação da PNRS no Brasil.

A partir de 2017, o número de publicações anuais ultrapassou a marca de 100 artigos. De 2018 em diante, observa-se um crescimento exponencial no número de publicações, evidenciando o crescimento da importância do tema. Ahmad *et al.* (2021) também observaram em seu estudo um rápido crescimento no número de publicações de 2016 a 2021. Esse crescimento pode estar relacionado ao Acordo de Paris (UNEP, 2021). Esse acordo, que entrou em vigor em 2016, tem como principal objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa e manter o aumento da temperatura média global inferior a 2°C.

Além do crescimento das pesquisas a respeito desta temática, houve um aumento geral no número de publicações científicas brasileiras nas últimas duas décadas (MARQUES, 2020). O número de artigos de autoria brasileira em periódicos indexados na plataforma Scopus passou de 13.500 no final dos anos 1990 para 74.000 em 2018 (MARQUES, 2020). Já o número de concluintes de doutorado no Brasil passou de 4.900 em 1999 para quase 22.900 em 2018, um aumento de 370% (MARQUES, 2020).

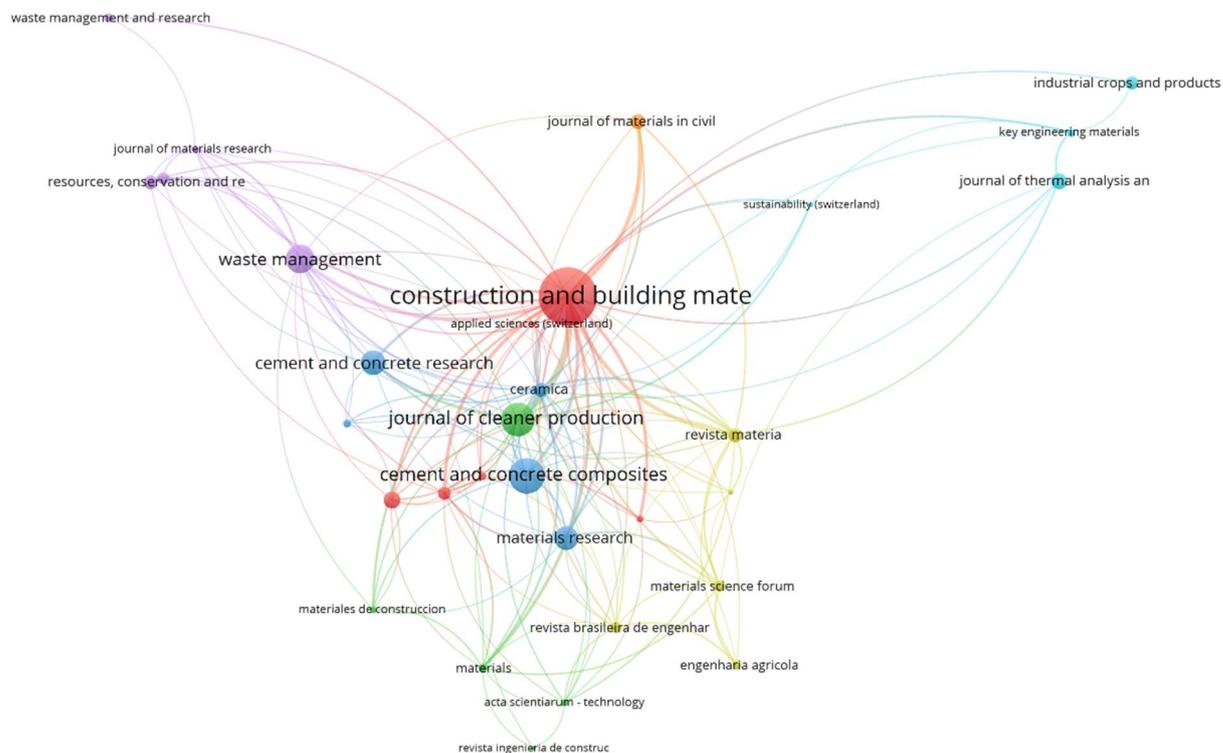
4.1.2 Principais fontes de publicação

Os periódicos científicos são uma das principais formas de disseminação de pesquisas acadêmicas. A identificação dos periódicos que publicaram artigos a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias fornece informações importantes a respeito das tendências de pesquisa nessa área, uma vez que os periódicos publicam artigos dentro de um escopo predefinido. A Figura 3 mostra a rede de periódicos científicos mais citados dentre os trabalhos analisados.

Para essa análise, foi utilizada a função “criar um mapa com base em dados bibliográficos” no VOSviewer. O tipo de análise escolhida foi “citação” e a unidade da análise foi “fonte”. O resultado foi limitado a periódicos que publicaram pelo menos cinco artigos e alcançaram pelo menos 20 citações. Em um universo de 358 periódicos analisados, apenas 34 alcançaram esse limite. Dentre os 34 periódicos considerados, três não possuem conexão com nenhum outro periódico. Isso significa que esses três periódicos não foram citados e nem citaram nenhum das revistas científicas consideradas na rede. Não existem normas que orientem a respeito da seleção do

número de documentos e da quantidade de citações, por isso os parâmetros adotados foram baseados no estudo de Wuni, Shen e Osei-Kyei (2019).

Figura 3 – Rede de citações de periódicos



Fonte: elaborado pela autora no software VOSviewer.

Nas redes bibliométricas, o tamanho do nó reflete o impacto (em termos de número de citações) do periódico. Os nós de uma mesma cor representam grupos de periódicos conectados detectados a partir de análises do VOSviewer. O escopo dos periódicos científicos ou o número de vezes que eles são co-citados são alguns dos parâmetros utilizadas para o agrupamento em cores (AHMAD *et al.*, 2021).

Na Figura 3 observa-se que os jornais “*Construction and Building Materials*”, “*Cement and Concrete Composites*” e “*Journal of Cleaner Production*” tem nós relativamente maiores do que o restante dos periódicos, o que significa que esses periódicos tiveram mais citações dentre os documentos analisados. Li *et al.* (2022) também realizaram uma análise bibliométrica a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias nas últimas duas décadas e obtiveram resultados

semelhantes, encontrando “*Construction and Building Materials*”, “*Journal of Cleaner Production*” e “*Resources, Conservation and Recycling*” como os periódicos com os maiores números de citações.

As linhas de conexão e suas respectivas espessuras demonstram as conexões (*links*) existentes entre as revistas científicas (AHMAD *et al.*, 2021). Já as conexões entre os nós mais próximos são mais fortes do que aqueles que estão mais distantes (AHMAD *et al.*, 2021). A “*Construction and Building Materials*”, por exemplo, possui um vínculo de citação mais forte com a “*Journal of Cleaner Production*” quando comparado com a “*Cement and Concrete Composites*”.

Na Tabela 1, é possível observar informações mais detalhadas a respeito dos 15 periódicos com maior número de citações, dentre os 34 considerados nesta análise, ranqueados conforme o número de citações.

Tabela 1 – Periódicos científicos com maior nº de citações

| Periódico científico | Nº de documentos | Citações (total) | Força da conexão (<i>link</i>) |
|--|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| <i>Construction and Building Materials</i> | 122 | 3419 | 230 |
| <i>Cement and Concrete Composites</i> | 18 | 1338 | 38 |
| <i>Journal of Cleaner Production</i> | 57 | 1170 | 96 |
| <i>Waste Management</i> | 19 | 867 | 51 |
| <i>Cement and Concrete Research</i> | 6 | 637 | 20 |
| <i>Materials Research</i> | 32 | 594 | 36 |
| <i>Journal of Environmental Management</i> | 8 | 289 | 19 |
| <i>Journal of Hazardous Materials</i> | 11 | 288 | 0 |
| <i>Journal of Thermal Analysis and Calorimetry</i> | 15 | 269 | 14 |
| <i>Journal of Materials in Civil Engineering</i> | 23 | 241 | 28 |
| Cerâmica | 43 | 217 | 74 |
| Revista Matéria | 89 | 211 | 62 |
| <i>Resources, Conservation and Recycling</i> | 7 | 199 | 8 |
| <i>Industrial Crops and Products</i> | 5 | 183 | 3 |
| <i>Journal of Building Engineering</i> | 19 | 168 | 36 |

Fonte: elaborado pela autora.

A força da conexão entre periódicos representa a quantidade de referências mútuas citadas por dois periódicos. Por exemplo, a “*Construction and Building Materials*” é a revista que compartilha mais citações com os demais periódicos (força da conexão: 230). Nos resultados dos estudos de Li *et al.* (2022) e de Ahmad *et al.* (2021) a “*Construction and Building Materials*” também aparece como periódico com maior força de conexão.

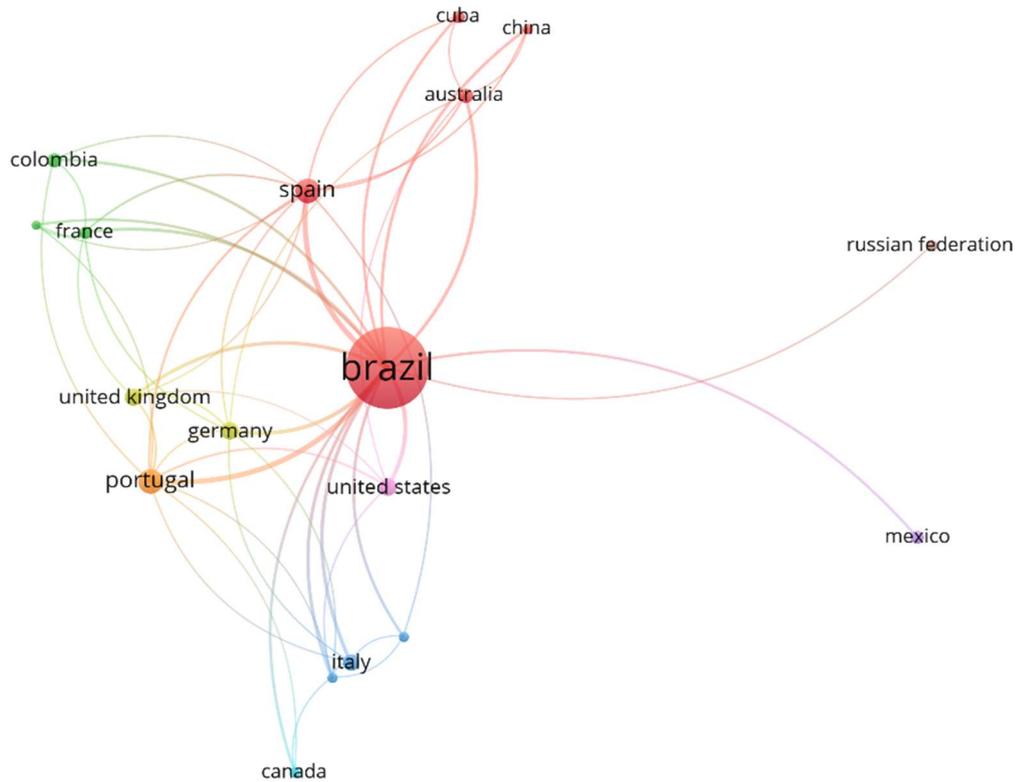
Dos 1270 documentos considerados nesta pesquisa, os periódicos com maior número de citações são “*Construction and Building Materials*” (3.419), “*Cement and Concrete Composites*” (1.338) e “*Journal of Cleaner Production*” (1.170). No entanto, em relação ao número de documentos publicados, os resultados são diferentes. O periódico “*Construction and Building Materials*” possui o maior número de documentos e de citações, mas o segundo periódico com maior número de documentos, a Revista Matéria (89), é o 12º em relação ao número de citações. O conhecimento dessas medidas de impacto fornece informações importantes para pesquisadores na escolha dos periódicos para submeter os resultados de suas pesquisas.

4.1.3 Países em colaboração com o Brasil

Nesta seção foi feita uma análise dos países que atuam em colaboração com o Brasil no estudo de incorporação de resíduos em matrizes cimentícias. Esta análise fornece informações importantes a respeito dos maiores parceiros internacionais do país. A rede de países que atuam em colaboração com o Brasil está ilustrada na Figura 4.

Para essa análise, foi utilizada a função “criar um mapa com base em dados bibliográficos” no VOSviewer. O tipo de análise escolhida foi “citação” e a unidade da análise foi “país”. O resultado foi limitado a países que publicaram pelo menos cinco artigos e alcançaram pelo menos 20 citações. Em um universo de 60 países analisados, 18 (incluindo o Brasil) alcançaram esse limite e têm conexões estabelecidas entre eles.

Figura 4 – Rede de países em colaboração com o Brasil



Fonte: elaborado pela autora no software VOSviewer.

O tamanho do nó (país) na Figura 4 representa a contribuição do país para a temática abordada em relação ao número de publicações. Em relação ao número de artigos publicados em conjunto com o Brasil, há um destaque para Portugal (56) e Espanha (55), e, por isso, esses países são representados por nós maiores do que os demais. Já em relação ao número de citações dos artigos publicados por país, a situação é inversa: os países com mais citações são Espanha (1.284) e Portugal (876). Este resultado pode estar relacionado à questão da similaridade dos idiomas desses países com o do Brasil e às parcerias históricas entre universidades desses países, especialmente Portugal. As métricas dos países que atuam em colaboração com o Brasil podem ser observadas de forma detalhada na Tabela 2, ranqueados conforme o número de artigos em que os países apareceram.

Tabela 2 – Países com publicações em colaboração com o Brasil

| País | Nº de documentos | Citações (total) | Força da conexão (<i>link</i>) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Portugal | 56 | 876 | 140 |
| Espanha | 55 | 1284 | 140 |
| Alemanha | 23 | 155 | 56 |
| Reino Unido | 22 | 282 | 40 |
| Estados Unidos | 22 | 608 | 56 |
| Itália | 21 | 95 | 34 |
| Colômbia | 14 | 62 | 16 |
| Austrália | 13 | 643 | 28 |
| México | 12 | 76 | 9 |
| França | 10 | 237 | 28 |
| Cuba | 9 | 290 | 15 |
| Canadá | 8 | 69 | 13 |
| Federação Russa | 7 | 74 | 2 |
| Argentina | 6 | 152 | 17 |
| China | 6 | 380 | 18 |
| Holanda | 6 | 138 | 32 |
| Bélgica | 5 | 20 | 12 |

Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 2 é possível observar que o Brasil possui maior colaboração com países do Norte global do que com países vizinhos como a Colômbia e a Argentina. Uma das possíveis explicações para este resultado está relacionada ao fato de o Norte global investir, historicamente, mais recursos em pesquisa do que os países do Sul global, ou também a uma tentativa do Sul global de se aliar a países e instituições do Norte global para obter mais citações e alcance, já que tais países são comumente colocados como modelos de desenvolvimento científico (OLIVEIRA, 2020).

No estudo de Li *et al.* (2022), Índia, China, Estados Unidos e Reino Unido são, nessa ordem, os países com maior número de publicações a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias. Mas, no mesmo estudo, ao se analisar o número de citações, a ordem é diferente: Estados Unidos, China, Reino Unido e Índia obtêm mais citações em suas pesquisas. Em relação ao Brasil, no estudo de Li *et al.* (2022), o país aparece como 9º colocado em número de publicações, mas cai para 11º em número de citações. Essas informações fornecem bases importantes para a tomada de decisões e incentivos futuros na colaboração científica entre países.

As diferentes cores representam a concentração de densidade de palavras-chave. Por padrão, as cores variam entre azul, verde e amarelo (ECK e WALTMAN, 2022). Quanto mais amarela a cor e maior o diâmetro do círculo, mais densa é a palavra-chave. Isso significa que essas palavras-chave aparecem com mais frequência nos artigos. Por outro lado, quanto mais azul a cor e mais desbotada aparência da palavra-chave, menor a frequência de ocorrência.

Na Figura 5 é possível perceber que as palavras-chave que mais aparecem nas 1270 publicações são palavras “genéricas” como concreto, argamassa, reciclagem, propriedades mecânicas, durabilidade e cimento Portland, em consonância com os termos utilizados na busca da Scopus. É interessante observar o foco das pesquisas nas propriedades mecânicas dos materiais em detrimento de análises de desempenho, como investigações térmicas e acústicas, por exemplo. No estudo de Li *et al.* (2022), que também realizaram uma análise bibliométrica a respeito da incorporação de resíduos em matrizes cimentícias nas últimas duas décadas, as palavras-chave com mais ocorrências são similares: desenvolvimento sustentável, reciclagem, indústria da construção, resistência à compressão e sustentabilidade, nessa ordem.

4.2 Identificação dos resíduos mais estudados por brasileiros

Para identificar os resíduos mais estudados pelos brasileiros que podem ser incorporados em matrizes cimentícias, as 643 palavras-chave com mais de duas ocorrências foram analisadas individualmente. As palavras que correspondiam aos possíveis resíduos foram selecionadas, agrupadas por sinônimos, e as ocorrências desses sinônimos foram somadas. Por exemplo, “*construction and demolition waste*”, “*recycled aggregate*”, “*recycled aggregates*”, “*recycled concrete aggregate*” e “*c&d waste*” e outros 17 termos análogos foram considerados o mesmo resíduo: “resíduos de construção e demolição”. Os 49 resíduos agrupados por sinônimos, o número de ocorrências desses sinônimos e os estados brasileiros de geração dos resíduos estão resumidos na Tabela 3. A Tabela (no Apêndice A) mostra a lista completa de todas as palavras-chave (em inglês) e os agrupamentos realizados.

Tabela 3 – 49 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias - Continua

| # | Resíduo | Nº de ocorrências | Estados |
|----|--|-------------------|--|
| 1 | resíduos de construção e demolição | 181 | Todos |
| 2 | cinza da casca de arroz | 30 | Todos |
| 3 | resíduo de vidro | 28 | Todos |
| 4 | borracha de pneu | 27 | Todos |
| 5 | bagaço de cana-de-açúcar | 27 | SP, GO, MS, MT, MG, RN, PB, PE, AL, SE |
| 6 | resíduos agrícolas | 26 | Todos |
| 7 | resíduo cerâmico | 24 | Todos |
| 8 | resíduo de madeira | 22 | Todos |
| 9 | resíduo de bauxita | 18 | PA, MG, MA, SP, SC |
| 10 | resíduo de granito | 16 | ES, MG, PR, BA, RJ, SC, MS, RN, CE, PB |
| 11 | rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) | 12 | MG, PA, MS |
| 12 | cinzas volantes | 11 | CE, SC, RS, MA, MG, PA, SP, RJ, PR |
| 13 | resíduo de areia de fundição | 11 | Todos |
| 14 | grits | 10 | PR, MS, SP, SC, RS, MG, RJ, ES, BA, PE, MA, PA, AM, RO |
| 15 | resíduo de PET (Polietileno Tereftalato) | 10 | Todos |
| 16 | escória de aciaria | 10 | PA, MA, CE, PE, MG, ES, RJ, SP, PR, RS |
| 17 | lodo de estações de tratamento de água | 10 | Todos |
| 18 | resíduo de mármore | 9 | ES, MG, PR, BA, RJ, SC, MS, RN, CE, PB |
| 19 | sílica ativa | 7 | MG, BA, GO, PA, CE, MS, SP |
| 20 | cal de carbureto | 6 | RS, SP, AM, PE, MG, PA |
| 21 | resíduo da polpa de celulose | 6 | PR, MS, SP, SC, RS, MG, RJ, ES, BA, PE, MA, PA, AM, RO |
| 22 | resíduo de caulim | 6 | PA, AM, AP |
| 23 | resíduo da produção de cal | 6 | MG, MT, PR, GO, SP, MS, TO, DF, SE, PB, CE, RS, RN, PA, SC, RJ, BA, AL, PI, RO, ES, MA, PE |

Tabela 3 – 49 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias - Continuação

| # | Resíduo | Nº de ocorrências | Estados |
|----------|--|--------------------------|--|
| 24 | resíduo de rochas ornamentais | 6 | ES, MG, PR, BA, RJ, SC, MS, RN, CE, PB |
| 25 | lodo da indústria de papel / resíduos de papel | 6 | Todos |
| 26 | dregs | 5 | PR, MS, SP, SC, RS, MG, RJ, ES, BA, PE, MA, PA, AM, RO |
| 28 | resíduo de polimento de porcelanato | 5 | SP, SC, PR, RS, MS, GO, MG, ES, BA, CE, PB, PE, RN, SE |
| 27 | resíduo de curtume | 5 | RS, SP, CE, MG, BA, PB, PR, MS, GO, SC |
| 29 | escória de alto forno | 4 | MG, RJ, ES, SP, PA, MA, CE |
| 30 | resíduos de pedreira | 4 | Todos |
| 31 | escória de cobre | 3 | BA, PA, GO |
| 32 | resíduo de lã de vidro | 3 | Todos |
| 33 | resíduo da anodização do alumínio | 2 | RS, SC, PR, MS, MT, GO, MG, SP, RJ, ES, BA, PE, PB, RN, CE, RO, AM |
| 34 | cinza de folha de bambu | 2 | AC, MA, PB, SP, RS, MG, BA, PR |
| 35 | cinza de biomassa | 2 | Todos |
| 36 | manipueira (água residual da mandioca) | 2 | PA, PR, BA, MA, SP, AC, RS, MG, AM |
| 37 | resíduo de carvão mineral | 2 | PR, SC, RS |
| 38 | casca de coco | 2 | MA, PI, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA, MG, ES |
| 39 | casca de café | 2 | BA, ES, GO, MT, MG, PR, RJ, RO, SP |
| 40 | pó de aciaria elétrica (PAE) | 2 | MG, RJ, SP, PA, PE, CE, PR, RS, BA, ES |
| 41 | lodo galvânico | 2 | RS, SC, PR, MS, MT, GO, MG, SP, RJ, ES, BA, PE, PB, RN, CE, MA, PA, AM, RO |
| 42 | resíduo de EVA (Etileno Acetato de Vinila) | 2 | CE, RS, MG, PB, PE, SP, BA, PR, SC, SE |
| 43 | resíduo de tinta | 2 | Todos |
| 44 | fosfogesso | 2 | MG, SC, GO, SP, CE, TO, PE, BA, PB, PI |

Tabela 3 – 49 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias - Conclusão

| # | Resíduo | Nº de ocorrências | Estados |
|----|---------------------------------|-------------------|--|
| 45 | resíduo de plástico | 2 | Todos |
| 46 | resíduo de scheelita | 2 | RN |
| 47 | cascalho da perfuração de poços | 2 | PA, AM, SP, RJ, MG, ES, SE, RN, PE, PB, MA, CE, BA, AL, SC, RS, PR, MS |
| 48 | lodo da indústria têxtil | 2 | SP, SC, MG, PR, CE, BA, RS, PB, PE, SE, RN, RJ |
| 49 | minério não reagido (MNR) | 2 | BA |

Fonte: elaborado pela autora.

Os resíduos presentes na Tabela 3 são gerados por diferentes atividades:

- Resíduos urbanos: resíduos de vidro, resíduos de plástico, resíduos de PET, lodo do tratamento da água etc.;
- Resíduos agrícolas e da silvicultura: resíduos de madeira, casca de coco, casca de café, cinza de casca de arroz etc.;
- Resíduos da construção civil: RCD, resíduos de granito, resíduos de mármore, resíduos de cerâmica etc.;
- Resíduos de mineração: rejeito de barragem minério de ferro - RBMF, resíduo de carvão mineral, resíduo de caulim etc.;
- Resíduos industriais: resíduo da polpa de celulose, resíduo de anodização do alumínio, escória de aciaria etc.

Essa variedade de origens também é observada nos quatro resíduos mais estudados no Brasil nos últimos 20 anos, a saber: RCD (setor de construção civil), cinza da casca de arroz (setor agrícola), resíduos de vidro (vida urbana em geral) e resíduos de borracha de pneu (vida urbana em geral).

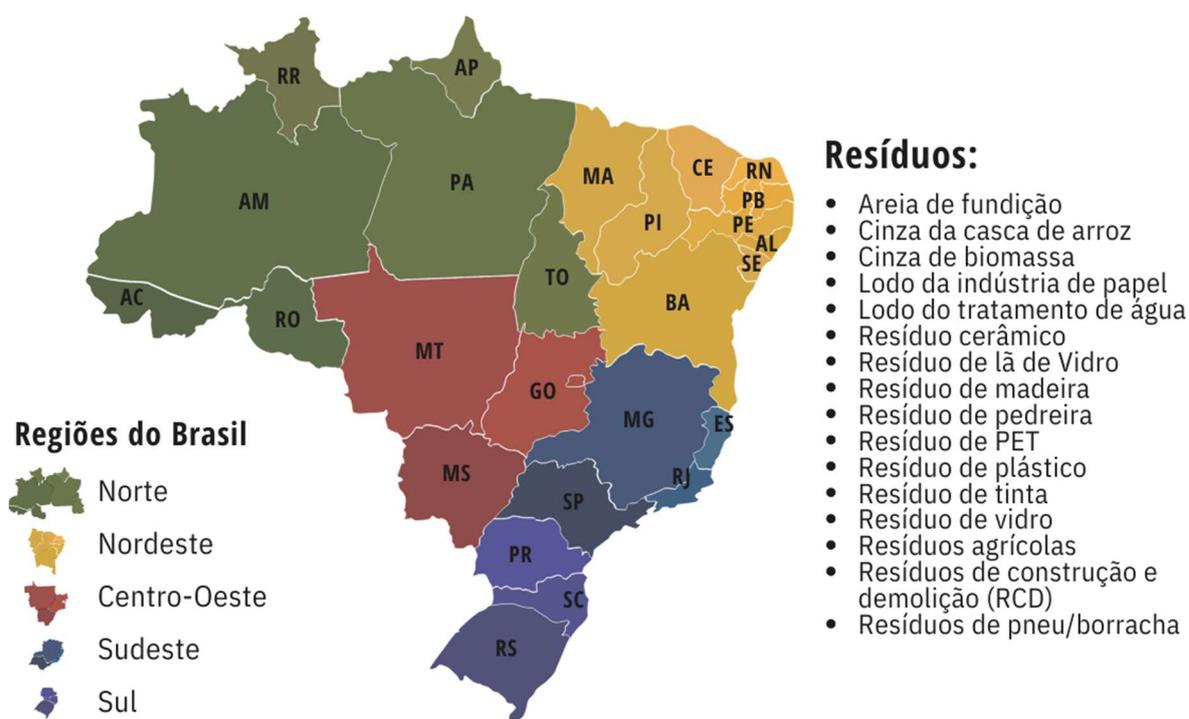
Embora esses resíduos tenham sido amplamente estudados nas últimas décadas e sua viabilidade técnica tenha sido atestada por diversos autores, ainda existem obstáculos que impedem o reaproveitamento desses resíduos no Brasil, como visto na Revisão Bibliográfica deste trabalho. O Brasil é um país de dimensões continentais,

com pouco investimento em ferrovias e hidrovias (IBGE, 2014). Além disso, o transporte de mercadorias no Brasil é feito principalmente por rodovias, e muitas delas estão em estado inadequado, o que contribui para o alto custo do frete (GARCIA, VICENS-SALORT e NÄÄS, 2015). Nesse cenário, o desafio logístico é uma barreira substancial para o reaproveitamento de resíduos. Dessa forma, conhecer a localização e disponibilidade dos resíduos no território brasileiro é essencial para maximizar a sua utilização.

4.3 Resíduos presentes em todo território brasileiro

A Figura 6 mostra o mapa do Brasil com os 16 resíduos que podem ser encontrados em todos os estados brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias.

Figura 6 – Resíduos utilizados em matrizes cimentícias presentes em todo Brasil



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no *software* Adobe Illustrator.

Os resíduos encontrados em todo o Brasil são resíduos de areia de fundição, cinza da casca de arroz, cinza de biomassa, lodo das indústrias de papel, lodo do tratamento

de água, resíduos cerâmicos, resíduo de lã de vidro, resíduos de madeira, resíduos de pedreira, resíduos de PET, resíduos de plástico, resíduo de tinta, resíduos de vidro, resíduos agrícolas em geral, RCD e resíduos de borracha de pneu. Devido à ampla disponibilidade desses resíduos no território brasileiro, as políticas nacionais de reaproveitamento ou reciclagem desses resíduos deveriam ser priorizadas.

Os resíduos que estão presentes em todo o território brasileiro são oriundos de atividades econômicas comuns, como a agricultura e a construção civil. Além disso, resíduos que são descartados no dia a dia dos brasileiros, como resíduos de PET e lodo do tratamento de água, também podem ser facilmente encontrados. Essa análise mostra que 16 dos 49 resíduos mais estudados pelas instituições brasileiras (33%) são encontrados em todo o território nacional. No entanto, a reutilização e reciclagem desses materiais ainda são pouco exploradas. Em 2018, por exemplo, a taxa de recuperação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil foi de apenas 2,2% (MMA, 2022).

Atualmente, estima-se que 75% dos pneus, 55% dos plásticos, 75% dos vidros e 60% dos RCD são descartados em aterros sanitários em todo o mundo (FERDOUS *et al.*, 2021). Esses resíduos ocupam um espaço considerável em aterros e geram problemas ambientais e de saúde pública. Algumas questões, como o descarte incorreto de pneus no Brasil, por exemplo, estão relativamente solucionadas, pois a resolução nº 416/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) proibiu a disposição desse material em aterros sanitários. No entanto, o descarte de resíduos plásticos, por exemplo, é uma questão mais complexa a ser resolvida, visto que o Brasil é o quarto maior gerador de resíduos plásticos do mundo (AGUIAR e MANNING, 2020) e esse material é consumido por toda a população.

O Brasil é um país com alta diversidade vegetal e de significativa produção agrícola (OUR WORLD IN DATA, 2022). Estudos indicam que há um grande potencial de aplicação de resíduos agrícolas na forma de fibras naturais em matrizes cimentícias (AZEVEDO *et al.*, 2022; MARQUES *et al.*, 2016). Segundo Azevedo *et al.* (2022), o Brasil precisa investir em pesquisa e desenvolvimento nessa área, possibilitando a geração de renda e o desenvolvimento científico e tecnológico de materiais com resíduos agroindustriais.

Os resíduos de PET e os resíduos de plástico, em geral, também podem ser usados como fibra em matrizes cimentícias, pois são duros e flexíveis (SILVA *et al.*, 2021; FERDOUS *et al.*, 2021). No entanto, o custo econômico do processamento dessas fibras pode contribuir para a baixa popularização e utilização desse material em larga escala (AZEVEDO *et al.*, 2022; FERDOUS *et al.*, 2021). O plástico, por exemplo, é um material mais barato de ser produzido do que reciclado (FERDOUS *et al.*, 2021).

Em relação aos resíduos agrícolas, estudos também indicam a possibilidade de aplicá-los em matrizes cimentícias na forma de cinzas (SALVO *et al.*, 2015). Com a popularização da geração de energia através da biomassa, houve um aumento dos resíduos desse processo: as cinzas de biomassa. No entanto, a aplicabilidade deste resíduo varia de acordo com a planta utilizada na combustão (SALVO *et al.*, 2015). Salvo, *et al.* (2015) observaram que cinzas de biomassa da combustão de cavacos de madeira e palha, por exemplo, podem ser utilizadas como SCM.

Além desse tipo de cinza de biomassa, outros estudos indicam a possibilidade aplicação de outros resíduos como SCM, como as cinzas da casca de arroz (SIDDIKA *et al.*, 2021), resíduos de pedreira (AWOYERA, NDAMBUKI e AKINMUSURU, 2018), lã de vidro (DEFÁVERI *et al.*, 2019), lodo do tratamento de água (GODOY *et al.*, 2020), resíduos de tinta (RIBEIRO *et al.*, 2017), lodo da indústria de papel (AZEVEDO *et al.*, 2015) e resíduos de madeira (USMAN *et al.*, 2018). Em todos os compósitos produzidos com esses resíduos observou-se uma significativa reatividade pozolânica e/ou resistência à compressão similar ou aumentada da matriz. Além disso, os autores destacaram também que a substituição do cimento Portland por resíduos reduz o consumo de recursos naturais e as emissões de CO₂ provenientes da produção de clínquer, contribuindo para a mitigação dos impactos gerados pela fabricação do cimento.

A cinza de casca de arroz é o segundo resíduo mais estudado pelos pesquisadores brasileiros. O Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo (STATISTA, 2022), e por isso há uma grande quantidade desse resíduo disponível no país, principalmente na região Sul, onde se concentra a maioria das plantações (CONAB, 2022). Estima-se que para cada 100 kg de casca de arroz queimado, são gerados 25 kg de cinzas (SINGH, 2018).

A lâ de vidro, por sua vez, é um material muito utilizado em fornos industriais devido à sua alta capacidade isolante. Ao final de sua vida útil, esse material perde essa característica e precisa ser disposto em aterros controlados, gerando impactos econômicos e ambientais (EVANGELISTA, TENÓRIO e OLIVEIRA, 2012; DEFÁVERI *et al.*, 2019).

Os resíduos de tinta são classificados como perigosos, e seu descarte incorreto constitui um alto risco de contaminação para o meio ambiente (RIBEIRO *et al.*, 2017). Além da possibilidade de aplicação deste resíduo como SCM em argamassas de revestimento (RIBEIRO *et al.*, 2017), ele também pode ser utilizado como aditivo na produção de blocos de alvenaria (ALMESFER, HAIGH e INGHAM, 2012) e como substituto parcial da água de amassamento do concreto (MOHAMMED, NEHDI e ADAWI, 2008). Da mesma forma, o resíduo de pedreira foi estudado com sucesso como SCM (AWOYERA, NDAMBUKI e AKINMUSURU, 2018), fíler (MATOS *et al.*, 2020; SCHANKOSKI *et al.*, 2020) e como agregado miúdo (SAFIUDDIN, RAMAN e ZAIN, 2007).

O lodo do tratamento de água, a areia de fundição, os resíduos cerâmicos, os resíduos de madeira, os resíduos de pneu, os resíduos de vidro e o RCD também podem ser utilizados como agregado miúdo e/ou graúdo (SIDDIQUE *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2019; SENTHAMARAI e MANOHARAN, 2005; BHARDWAJ e KUMAR, 2017; SILVA *et al.*, 2021; FERDOUS *et al.*, 2021). Em relação aos resíduos de madeira, o Brasil é o 9º no ranking dos dez maiores produtores de madeira serrada do mundo (IBA, 2021). Portanto, resíduos como cavacos de madeira estão altamente disponíveis no território brasileiro. A incorporação deste resíduo em matrizes cimentícias pode, inclusive, melhorar o desempenho térmico das edificações (SILVA *et al.*, 2021).

Em relação à areia de fundição, subproduto da fundição de metais, o Brasil é o 9º maior produtor de fundidos, com várias pequenas e médias empresas presentes em todo o país (ABIFA, 2020), o que possibilita a aplicação em larga escala desse resíduo em matrizes cimentícias. A areia residual de fundição pode ser usada para substituir parcialmente a areia convencional no concreto (BHARDWAJ e KUMAR, 2017) e pode aumentar a durabilidade e a resistência do compósito até certo ponto, embora possa

diminuir o abatimento do concreto dependendo da concentração (BHARDWAJ e KUMAR, 2017).

O lodo do tratamento de água é composto principalmente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , e contém essencialmente quartzo e caulinita (GODOY *et al.*, 2020). Os principais obstáculos para a aplicação desse resíduo em matrizes cimentícias são a variação da composição do resíduo e o alto teor de matéria orgânica presente, o que aumenta a porosidade do material, afetando seu desempenho (GODOY *et al.*, 2020). No entanto, a sua alta disponibilidade poderia contribuir para a redução dos custos com transporte dos agregados tradicionais e para o investimento em tecnologias para aprimoramento do seu uso.

Por fim, o lodo das indústrias de papel é o resíduo do tratamento de efluentes dessas indústrias. Devido à sua alta reatividade pozolânica (CAPPELLESSO *et al.*, 2020), esse resíduo pode ser utilizado como substituto parcial do cimento em matrizes cimentícias (BANEVIČIENĖ *et al.*, 2019), da areia de rio em concretos não estruturais (AHMADI e AL-KHAJA, 2001) e da cal em argamassas (AZEVEDO *et al.*, 2015). O Brasil tem grande potencial para utilização deste resíduo, uma vez que o país é um dos grandes produtores mundiais de papel e celulose (IBA, 2021).

4.4 Resíduos presentes em regiões/estados específicos

4.4.1 Resíduos Industriais

Os resíduos industriais foram considerados como os resíduos ou rejeitos provenientes das atividades fabris resultantes de algum processo envolvido na produção industrial. Na Tabela 3 foram identificados 20 resíduos industriais que podem ser utilizados em matrizes cimentícias e que estão presentes em estados específicos. São eles: escória de alto forno, pó de aciaria elétrica, escória de aciaria, resíduo de bauxita, minério não reagido (MNR), cal de carbureto, cinzas volantes, resíduo de anodização do alumínio, lodo galvânico, resíduo da polpa de celulose, dregs, grits, resíduo curtume, lodo da indústria têxtil, resíduo de polimento de porcelanato, resíduo de EVA, resíduo da produção de cal, sílica ativa, fosfogesso e manipueira (água residual da mandioca).

A escória de alto forno é um resíduo do processo de fabricação do ferro-gusa, utilizado na produção de aço. Este resíduo já é utilizado pela indústria cimenteira brasileira como substituto parcial do clínquer (SNIC, 2019). Além disso, Conceição *et al.* (2008) utilizaram escória de alto-forno em argamassas enriquecidas com fibras vegetais para a fabricação de telhas, e concluíram que este compósito pode substituir as telhas de amianto. Esse resíduo está mais presente nos estados da região Sudeste e nos estados do PA, MA e CE (INSITUTO AÇO BRASIL, 2021).

Já o pó de aciaria elétrica, gerado em siderúrgicas com forno elétrico a arco, pode contaminar o meio ambiente devido aos metais pesados em sua composição. No entanto, Souza *et al.* (2010) afirmam que as propriedades ligantes do cimento Portland favorecem a estabilização desse resíduo industrial. Entre outros estudos, Magalhães *et al.* (2019) alcançaram bons resultados mecânicos ao substituírem parcialmente o cimento por pó de aciaria elétrica na fabricação de pastas. Este resíduo pode ser encontrado em MG, ES, RJ, SP, RS, PR, PA, BA, CE e PE.

A escória de aciaria é gerada pelas siderúrgicas brasileiras durante a produção do aço. Estima-se que 4,9 milhões de toneladas desse resíduo tenham sido gerados no Brasil em 2020 (INSITUTO AÇO BRASIL, 2021). Esse resíduo pode ser utilizado como agregado graúdo no concreto e o pó de escória de aciaria pode ser usado como SCM através da aplicação de algumas técnicas de ativação (mecânicas, térmicas e químicas) (MARTINS *et al.*, 2021).

Além disso, Mendes *et al.* (2020) e Andrade *et al.* (2021) estudaram a substituição da areia de rio por escória de aciaria na produção de argamassas. Os autores verificaram que as argamassas produzidas com escória de aciaria têm maior resistência à compressão e melhor desempenho térmico quando comparadas às argamassas produzidas com agregados convencionais. Esse resíduo é encontrado em todos os estados do Sudeste, além dos estados do RS, PR, PA, MA, CE, BA e PE (INSITUTO AÇO BRASIL, 2021).

O resíduo de bauxita, também conhecido como lama vermelha, é um subproduto da produção de alumínio. Segundo Ribeiro *et al.* (2011), a lama vermelha pode ser usada em argamassas e concretos para aplicações não estruturais, substituindo parcialmente o cimento. O resíduo de bauxita pode ser encontrado em 5 estados

brasileiros: PA, MG, MA, SP e SC, sendo o PA responsável por cerca de 87% da produção nacional (ANM, 2020). A produção de alumínio nos estados do MA, SP e SC representa apenas cerca de 1% da produção nacional (MAGNO, 2015).

O resíduo gerado durante a produção do dióxido de titânio, também conhecido como minério não reagido (MNR), é outro subproduto que pode ser utilizado na fabricação de cimento. Este resíduo pode ser encontrado no estado da BA (LIMA, 2010). Mariani *et al.* (2019), por exemplo, produziram um clínquer com baixo impacto ambiental a partir da incorporação de MNR e obtiveram resultados satisfatórios. Ribeiro *et al.* (2021) desenvolveram argamassas de revestimento utilizando MNR e concluíram que este resíduo pode ser incorporado em matrizes cimentícias sem apresentar riscos de radiação aos usuários.

Quanto às cinzas volantes, resíduo gerado durante a combustão do carvão mineral em termelétricas, estima-se que 4,4 milhões de toneladas desse resíduo tenham sido gerados no Brasil em 2019 (SNIC, 2019). Este resíduo é utilizado pelas indústrias de cimento no Brasil como SCM (SNIC, 2019). Estudos indicam que a utilização de cinzas volantes como SCM pode beneficiar a resistência, trabalhabilidade e durabilidade do concreto em determinadas proporções (MATOS, FOIATO e PRUDÊNCIO JR., 2019). Há também estudos sobre seu uso em matrizes cimentícias com a adição de outro resíduo – a cal de carbureto (CONSOLI *et al.*, 2017). A cal de carbureto é gerada na produção de acetileno, que é usado na fabricação de explosivos e solventes industriais. Esse resíduo é encontrado nos estados de SP, AM, PE, MG, PA e RS (IBG, 2022; AIR LIQUIDE, 2022; WHITE MARTINS, 2022), enquanto a cinza volante pode ser encontrada principalmente nos estados do Sul do Brasil, além de CE, MA, MG, PA, SP e RJ (ANEEL, 2022).

No que diz respeito ao resíduo de anodização de alumínio, esse material pode ser utilizado como aditivo para evitar a retração em pastas de cimento (SOUZA *et al.*, 2020). Além disso, Costa *et al.* (2016) desenvolveram, com sucesso, o cimento sulfoaluminato-belita de cálcio (um ligante eco-alternativo para o cimento Portland), utilizando esse resíduo como fonte de alumina, em substituição à bauxita. Pela facilidade de implantação dos processos de anodização do alumínio, esse resíduo pode ser encontrado em vários estados do Brasil, como PR, SC, RS, MG, ES, RJ, SP,

MT, GO, MS, BA, PE, PB, RN, CE, RO e AM (LST MAGNUS, 2022; STARCOLOR, 2022; ANOSUL, 2022; ALUSUL, 2022; ALUMÍNIO CUIABÁ, 2022; WINDOR, 2022; ANODIMINAS, 2022; CARCHEL, 2022; ANALUM, 2022; ALUMAN, 2022) (SEAX, 2022; NORAL, 2022; GUERRAL, 2022; ALUMINO POTIGUAR, 2022; ACPA, 2022).

O lodo galvânico, resíduo do processo de galvanização, é um material que precisa ser estabilizado/solidificado por conter metais pesados. De acordo com Jochem *et al.* (2021), esse resíduo pode ser utilizado na produção de argamassas em conjunto com agregados reciclados. Segundo os autores, o agregado reciclado atua como um absorvente, sendo capaz de absorver os metais pesados do resíduo de galvanoplastia. Ainda conforme os autores, a incorporação desse resíduo não altera as propriedades da argamassa. Semelhante ao resíduo da anodização do alumínio, o lodo galvânico está presente em vários estados brasileiros (RS, SC, PR, MS, MT, GO, MG, SP, RJ, ES, BA, PE, PB, RN, CE, MA, PA, AM e RO), o que favorece seu uso em matrizes cimentícias (GRUPO INCAL, 2022; SARTOR, 2022; ALFA, 2022; GSL, 2022; DISPAN, 2022; GALTEC, 2022).

Resíduos como os das indústrias de celulose e papel também podem ser aplicados em matrizes cimentícias. Nos últimos anos, o Brasil tornou-se um dos maiores produtores de celulose kraft (IBA, 2021) e, com isso, houve um aumento no volume de resíduos gerados nesse processo. Dregs e grits são os principais resíduos sólidos gerados na produção de celulose kraft (TORRES *et al.*, 2020). Estima-se que em 2018, o Brasil tenha gerado aproximadamente 316.000 toneladas de dregs e 105.000 toneladas de grits (TORRES *et al.*, 2020).

Dregs são resíduos compostos principalmente de carbono, hidróxidos e sulfetos, enquanto os grits são compostos principalmente por cal não reagida (TORRES *et al.*, 2020). Ambos os resíduos são alcalinos e contêm alta concentração de carbonato de cálcio, o que indica o potencial deste material para ser utilizado em matrizes cimentícias (TORRES *et al.*, 2020). Estudos brasileiros indicam que esses resíduos podem ser utilizados tanto em conjunto quanto separadamente. As aplicações são amplas, como em substituição parcial do clínquer (TORRES *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021), na produção de tijolos de solo-cimento (SIQUEIRA e HOLANDA, 2013) e

em substituição parcial à areia em argamassas (ZANELLA e BARROS TRANNIN, 2015; OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019).

Além de dregs e grits, a produção de celulose kraft também gera outros resíduos, como a lama de cal (TORRES *et al.*, 2020). Mymrin *et al.* (2020) constataram que existe um grande potencial para o uso de dregs, grits e lama de cal, em conjunto, como principais componentes na fabricação de tijolos, blocos, e bases de estradas e pistas de aeroportos. Gomes *et al.* (2015) verificaram que os resíduos da polpa de celulose também podem ser utilizados na fabricação de argamassa de revestimento como material absorvente. Já as fibras de celulose são amplamente utilizadas em compósitos de fibrocimento, na fabricação de telhas, chapas onduladas e planas, painéis de vedação e outros materiais de construção, principalmente placas finas não estruturais (FONSECA *et al.*, 2019). As indústrias que produzem esses resíduos estão concentradas principalmente em PR, MS, SP, mas também estão presentes em SC, RS, MG, RJ, ES, BA, PE, MA, PA, AM e RO (IBA, 2021).

Quanto aos resíduos de curtume, presentes nas águas residuais do curtimento de couro, as pesquisas científicas estão relacionadas à estabilização/solidificação do resíduo (PINTO *et al.*, 2004; PINTO *et al.*, 2006), por se tratar de um material perigoso. Pinto *et al.* (2010) desenvolveram uma matriz cimentícia com resíduos de curtume e obtiveram baixa resistência à compressão, no entanto, ainda acima dos valores mínimos permitidos pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) para a viabilidade do processo de estabilização/solidificação. O estado do RS é responsável por 30% da produção nacional de couro, mas SP, CE, MG, BA, PB, PR, MS, GO e SC também são produtores (MENDES JÚNIOR e XIMENES, 2021).

O lodo das indústrias têxteis também é estudado como componente de matrizes cimentícias para fins de estabilização/solidificação (ALTIDIS *et al.*, 2014). Altidis *et al.* (2014) desenvolveram um concreto utilizando lodo têxtil e concluíram que é possível utilizar este subproduto na fabricação de concreto sem maiores desvantagens. Este resíduo é encontrado principalmente em SP e SC, mas também está presente em MG, PR, CE, BA, RS, PB, PE, SE, RN e RJ (MENDES JÚNIOR, 2021).

Em relação ao resíduo de polimento de porcelanato, grandes quantidades são geradas no país, uma vez que o Brasil é o 2º maior consumidor e o 3º maior produtor

do mundo do setor cerâmico (ANFACER, 2022). A fim de aproveitar esse subproduto, de Matos *et al.* (2018) analisaram seu uso como SCM em concretos autoadensáveis e observaram que a substituição resultou em um melhor desempenho do concreto no estado fresco. As indústrias que geram esse resíduo no Brasil estão concentradas em SP, SC, PR, RS, MS, GO, MG, ES, BA, CE, PB, PE, RN e SE (ABCERAM, 2022).

Quanto aos resíduos de EVA, gerados principalmente na produção de calçados, há grande potencial para sua utilização como agregado leve na construção civil. Rodrigues e Vargas (2015) verificaram que compósitos com substituição parcial de areia convencional por resíduos de EVA e poliuretano (PU) podem ser aplicados em elementos construtivos não estruturais. Já Lima, Leite e Santiago (2010) verificaram que é possível produzir concreto leve com propriedades estruturais e não estruturais, através do uso combinado de resíduos de EVA e RCD. As principais empresas calçadistas do Brasil estão em MG, RS, CE e PB, além de PE, SP, BA, PR, SC e SE (ABICALÇADOS, 2021).

Mymrin e Correa (2007) verificaram que o uso em conjunto de RCD e resíduos da produção de cal em matrizes cimentícias resulta em ótimas propriedades mecânicas. O resíduo da produção de cal funciona como um ativador alcalino das superfícies das partículas, permitindo o uso de inúmeros outros resíduos para a formulação de matrizes cimentícias, como o rejeito de barragem minério de ferro (RBMF), por exemplo (MYMRIN *et al.*, 2021a; MYMRIN *et al.*, 2021b). O Brasil possui reservas de calcário em quase todos os estados brasileiros, exceto no AP, AC e RR (PARAHYBA, 2009).

A sílica ativa, um pó ultrafino gerado durante a produção de sílica, é uma das melhores e mais populares pozolanas disponíveis atualmente (VILLAR-COCIÑA *et al.*, 2020). Embora alguns estudos confirmem a possibilidade de utilização de uma porcentagem maior desse resíduo em relação à massa de cimento (LILKOV *et al.*, 2014) a norma europeia EN 197-1 (2011) limita seu uso a até 10%. Pelisser *et al.* (2011), por exemplo, desenvolveram um concreto com resíduos de borracha de pneu e sílica ativa e observaram pouca diferença na resistência à compressão quando comparado ao concreto convencional. Os autores concluíram que esse compósito pode contribuir para a sustentabilidade da construção. Atualmente, as indústrias que

fabricam sílica no Brasil estão nos estados de MG, BA, GO, PA, CE, MS e SP (GRANHA LIGAS, 2022; LIMA, 2010).

Quanto ao fosfogesso, subproduto da fabricação de fertilizantes, cerca de 4,5 milhões de toneladas são geradas por ano somente em SP e MG (MARCHI *et al.*, 2020). No Brasil, cerca de 50% do fosfogesso é reciclado (o total reciclado no mundo é de apenas 15%), e o restante é disposto em pilhas próximas às unidades de produção (SILVA e GIULIETTI, 2010). Esse resíduo pode ser usado como substituto parcial ou total do gesso natural na produção de cimento Portland (HOLANDA, SCHMIDT e QUARCIONI, 2017; ANDRADE NETO *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022). No entanto, algumas impurezas presentes no fosfogesso podem alterar a cinética de hidratação do cimento (ANDRADE NETO *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022). Diante disso, Costa *et al.* (2022) produziram pastas de cimento com diferentes fontes de sulfato de cálcio – gesso natural, fosfogesso alcalino e fosfogesso ácido – e investigaram suas propriedades. Eles observaram que não há diferenças significativas nos produtos de hidratação e na resistência à compressão das pastas produzidas com gesso natural e com fosfogesso alcalino. Assim, os autores concluíram que o fosfogesso alcalino com baixo teor de fosfato solúvel e flúor pode substituir o gesso natural no cimento Portland.

Além disso, Costa *et al.* (2021) desenvolveram um cimento ternário utilizando fosfogesso na composição, além de cimento Portland, resíduos de mármore e resíduos de tijolos de barro. A partir das propriedades encontradas para este cimento, os autores concluíram que ele pode ser uma alternativa sustentável à fonte natural de sulfato de cálcio utilizada em cimentos ternários convencionais (COSTA *et al.*, 2021). Além de SP e MG, as reservas de rocha fosfática são encontradas em SC, GO, CE, TO, PE, BA, PB e PI (SOUZA e FONSECA, 2009).

Diversos estudos corroboram a substituição de cimento, areia e agregados na produção de concreto. No entanto, pouco se fala sobre a grande quantidade de água utilizada na construção civil. Nesse sentido, de Souza *et al.* (2021) constataram que é possível substituir a água na produção de tijolos solo-cimento por manipueira, um subproduto industrial proveniente da prensagem de mandioca em casas de farinha e fecularias. Segundo os autores, essa substituição é capaz de produzir tijolos solo-

cimento com maior densidade aparente e maior resistência à compressão do que os tijolos produzidos com água potável, o que demonstra que esse resíduo não afeta o processo de hidratação do cimento. A manipueira pode ser encontrada principalmente nos estados do PA, PR, BA, MA, SP, AC, RS, MG e AM (EMBRAPA, 2022).

4.4.2 Resíduos Geológicos

Neste estudo, os resíduos geológicos foram considerados como aqueles provenientes das atividades de extração geológica. Nove resíduos que não estão presentes em todos os estados brasileiros foram classificados como resíduos geológicos: resíduo de carvão mineral, rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF), resíduo de rochas ornamentais, resíduo de mármore, resíduo de granito, resíduo de caulim, resíduo de scheelita, escória de cobre e cascalho da perfuração de poços.

O resíduo de carvão mineral é gerado durante o processo de separação do carvão da rocha ou do solo incrustado e na lavagem. Quando não é depositado em escombreciras, este resíduo é utilizado principalmente para preenchimento de galerias de minas desativadas (VEGAS *et al.*, 2015). Ballesteros *et al.* (2019) compararam diferentes argamassas feitas com calcário, cinzas de casca de arroz e resíduo de carvão mineral ativado e verificaram que esta última apresentou melhor desempenho para aplicação como fibra de reforço em concretos de alto desempenho, devido à sua alta resistência e estrutura de poros refinada. O carvão mineral é encontrado principalmente nos estados da região Sul (CANO, 2009).

Quanto ao RBMF, 99,9% da produção brasileira de ferro é proveniente dos estados de MG, PA e MS (ANM, 2020). O país é o segundo maior exportador de minério de ferro do mundo (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2022). Infelizmente, recentemente o Brasil foi cenário de tragédias causadas pelo rompimento de barragens de rejeitos de minério de ferro. Com isso, houve um aumento nas pesquisas relacionadas à aplicação desse resíduo em diferentes áreas, como agregado miúdo em matrizes cimentícias (FONTES *et al.*, 2016) e inclusive como pigmento na produção de ladrilhos hidráulicos (FONTES *et al.*, 2018).

Em relação aos resíduos gerados na exploração de rochas ornamentais, alguns pesquisadores identificaram que eles podem ser utilizados como fíler, agregado miúdo e SCM em matrizes cimentícias (AZEVEDO *et al.*, 2019; ZULCÃO *et al.*, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2020). Azevedo *et al.* (2019) estudaram a substituição da areia por resíduos de granito e concluíram que argamassas com 40% do resíduo possuem melhores propriedades tecnológicas no estado fresco quando comparadas às argamassas sem resíduo. Marvila *et al.* (2019) verificaram que é possível substituir a cal hidratada por resíduo de mármore em argamassas de cimento-cal, o que contribui para diversas vantagens tecnológicas. Esses resíduos são geralmente encontrados nos estados do ES, MG, PR, BA, RJ, SC, MS, RN, CE e PB (ABIROCHAS, 2018).

Em relação aos resíduos de caulim, cerca de 90% de toda a reserva de caulim do Brasil está localizada na floresta amazônica e é uma das maiores do mundo (HILDEBRANDO *et al.*, 2014). Sua extração e subsequente geração de resíduo ocorre nos estados do AM, PA e AP (MÁRTIRES, 2009). A grande quantidade de resíduos gerados dá origem a barragens de resíduos de caulim na região amazônica, o que leva ao desmatamento (SILVA *et al.*, 2021). Silva *et al.* (2021) verificaram que o resíduo de caulim é tecnicamente viável como SCM na produção de cimento de baixo carbono (tipo LC³). Os autores produziram pastas de cimentos LC³ contendo resíduos de caulim e caulim puro. Eles observaram que a pasta contendo resíduo de caulim tem maior trabalhabilidade do que a contendo caulim puro e garante desempenho e reatividade semelhantes.

Quanto ao resíduo de scheelita, o RN é o único estado do Brasil que produz uma quantidade substancial de tungstênio, que gera o resíduo de scheelita como subproduto (DNPM, 2012). No entanto, a produção nacional é modesta. Em 2017, o país foi responsável por 0,62% da produção mundial de tungstênio (MEDEIROS *et al.*, 2021). A deposição de resíduos de scheelita pode causar impactos ambientais como acidificação terrestre e eutrofização da água doce (FURBERG, ARVIDSSON e MOLANDER, 2019). Para mitigar esse problema, Medeiros *et al.* (2021) desenvolveram uma argamassa substituindo a areia por esse resíduo e obtiveram resultados químicos e físicos semelhantes aos das argamassas convencionais.

Em relação à escória de cobre, estudos indicam que esse resíduo pode ser utilizado como SCM (MOURA, GONÇALVES e LIMA, 2007) e agregado miúdo (DOS ANJOS, SALES e ANDRADE, 2017). A maioria da produção brasileira de cobre se dá nos estados da BA, PA e GO (ANM, 2020).

No processo de perfuração de poços de petróleo e gás natural é gerado um resíduo fluido, contendo basicamente cascalho e lama (MARQUES, 2011). O cascalho da perfuração de poços pode ser utilizado para substituir o cimento na fabricação de tijolos solo-cimento (MARQUES, 2011). Marques (2011) constatou que os tijolos solo-cimento com a adição deste resíduo apresentam maior resistência mecânica e menor absorção de água. No entanto, a variação nas propriedades do resíduo, que dependem da formação rochosa de perfuração e dos fluidos envolvidos no processo, dificulta a avaliação de sua viabilidade técnica (CHEN, LIN e LIN, 2007). Este resíduo pode ser encontrado no PA, AM, SP, RJ, MG, ES, SE, RN, PE, PB, MA, CE, BA, AL, SC, RS, PR e MS (ANP, 2022).

4.4.3 Resíduos Agrícolas

Os resíduos agrícolas são provenientes de atividades agroindustriais ou domésticas de exploração da vegetação. Em geral, os resíduos agrícolas podem ser encontrados em todo o Brasil, no entanto, alguns resíduos específicos, como casca de café, cinzas do bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco e cinzas de folha de bambu são encontrados em regiões específicas.

O Brasil é o maior produtor de café do mundo (ICO, 2020), o que leva à geração de grandes quantidades de casca de café no país. Almeida *et al.* (2019) indicam que a casca de café pode ser utilizada como substituto parcial da areia na produção de concreto. Já Teixeira *et al.* (2020) indicam que esse resíduo pode ser utilizado como fibra em matrizes cimentícias. Os principais estados produtores de café no Brasil são BA, ES, GO, MT, MG, PR, RJ, RO e SP (CONAB, 2022).

Em relação à cinza do bagaço de cana, para cada tonelada de bagaço queimada são gerados 25 kg de cinzas (SALES e LIMA, 2010). Esse resíduo pode ser usado como adubo nas lavouras, apesar de não possuir todos os nutrientes adequados para

esta função (SALES e LIMA, 2010). Diversos estudos demonstram a viabilidade da substituição parcial da areia por este resíduo em matrizes cimentícias, garantindo resultados mecânicos semelhantes ou superiores às argamassas convencionais (SALES e LIMA, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2015; MOLIN FILHO *et al.*, 2019). Esse resíduo também pode ser utilizado com SCM devido à alta atividade pozolânica quando a calcinação é controlada e quando as impurezas presentes no material são reduzidas (ANDRADE NETO *et al.*, 2021; CORDEIRO, TAVARES e TOLEDO FILHO, 2016). Os principais estados brasileiros com plantações e usinas de cana-de-açúcar são SP, GO, MS, MT, MG, RN, PB, PE, AL e SE (CONAB, 2023).

A casca de coco também pode ser usada em matrizes cimentícias. Estudos brasileiros indicam adequadas propriedades físicas, mecânicas e térmicas para placas de cimento feitas com casca de coco (ALMEIDA, DEL MENEZZI e TEIXEIRA, 2002; FERRAZ *et al.*, 2020). Embora o Brasil seja um dos maiores produtores mundiais de coco (BHEEL, MANGI e LAL, 2021), não há muitos estudos brasileiros sobre a aplicação desse resíduo. No entanto, a literatura internacional mostra que esse resíduo também pode ser utilizado como SCM, substituindo até 10% o cimento no concreto (BHEEL, MANGI e LAL, 2021) e como substituto parcial do agregado graúdo na produção de concreto leve (JOSHI e KUMAR, 2020). Os estados que produzem uma quantidade substancial de coco no Brasil são MA, PI, CE, RN, PB, PE, AL, SE, BA, MG e ES (BRAINER e XIMENES, 2020).

Em relação às cinzas de folha de bambu, há um grande potencial para aplicação deste resíduo como SCM em matrizes cimentícias (VILLAR-COCIÑA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021; FRÍAS *et al.*, 2012). Este resíduo é uma pozolana com alta reatividade e possui grande teor de sílica amorfa em sua composição (VILLAR-COCIÑA *et al.*, 2020). Pesquisas indicam a possibilidade de substituição parcial do cimento em até 30% por cinzas de folha de bambu (SILVA *et al.*, 2021; FRÍAS *et al.*, 2012). O Brasil possui a maior diversidade de bambus do mundo, abrangendo 81% do gênero mundial (ANUNCIATO *et al.*, 2020). O bambu é cultivado em larga escala nos estados do AC, MA, PB, SP, RS, MG, BA e PR (ANUNCIATO *et al.*, 2020).

4.4.4 Mapas das regiões brasileiras com os respectivos resíduos

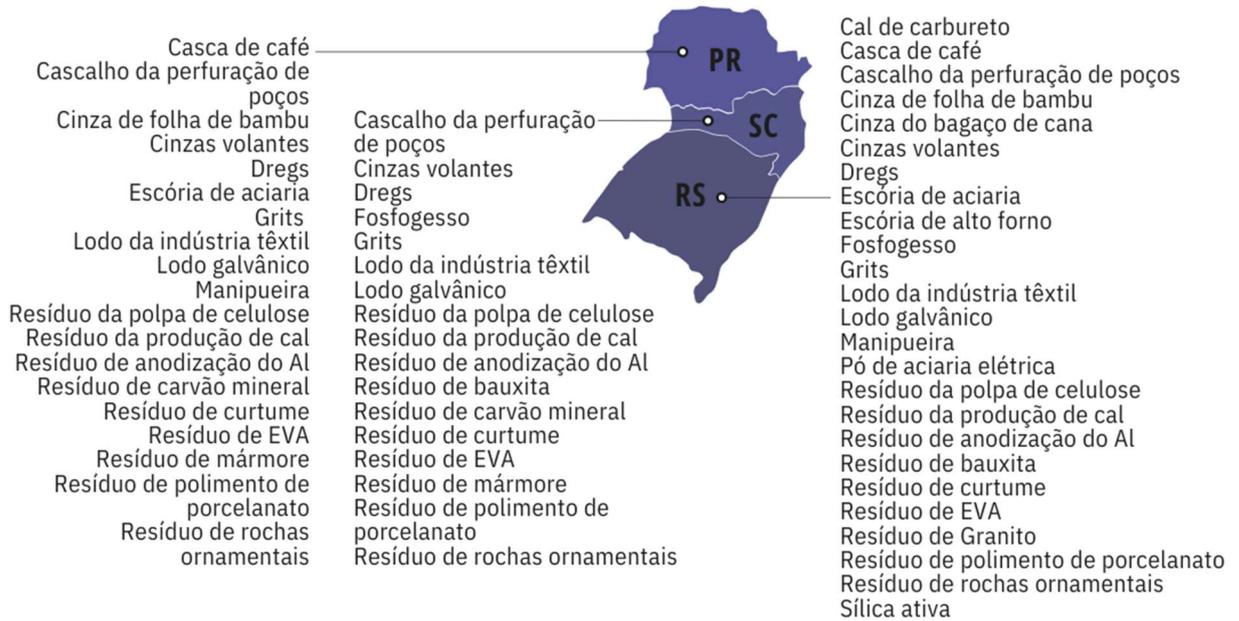
As Figuras 7 a 11 mostram os resíduos encontrados em cada estado brasileiro, divididos pelas cinco macrorregiões do país.

As regiões Sul e Sudeste (Figura 7 e Figura 8) possuem a maior diversidade de resíduos quando comparadas ao restante do país. Essa diversidade está relacionada ao fato de essas regiões possuírem a maior concentração de indústrias e a maior população do país (RIBEIRO, 2015; IBGE, 2021), ou seja, são regiões onde há maior produção e circulação de bens e serviços. Assim, muitos resíduos industrializados concentram-se nessas regiões.

Além dos resíduos industriais, as regiões Sul e Sudeste também se destacam pela presença de resíduos geológicos oriundos das atividades de mineração, como resíduos de carvão mineral, RBF e resíduos de rochas ornamentais. Isso está ligado à geodiversidade regional (SILVA, 2008) e ao processo de industrialização que ocorreu nessas regiões ao longo da história brasileira.

A geração de resíduos agropecuários é diversificada no Brasil devido aos diferentes climas e solos existentes no país. Apenas quatro resíduos agropecuários considerados neste estudo (casca de café, cinzas do bagaço de cana, casca de coco e cinzas de folha de bambu) não são encontrados em todos os estados brasileiros. Nesse sentido, nota-se a representatividade das regiões Sul e Sudeste, pois cada um dos estados dessas regiões apresenta pelo menos dois desses quatro resíduos, exceto o estado de SC.

Figura 7 – Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Sul



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no software Adobe Illustrator.

Figura 8 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Sudeste



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no software Adobe Illustrator.

Em relação à região Nordeste - Figura 9, as atividades agroindustriais são um dos protagonistas desta economia (PARRÉ e GUILHOTO, 2001). Quase todos os estados geram casca de coco e a maioria produz cinza do bagaço de cana. No entanto, o café e o bambu não são produzidos significativamente nesta região.

Figura 9 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Nordeste



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no software Adobe Illustrator.

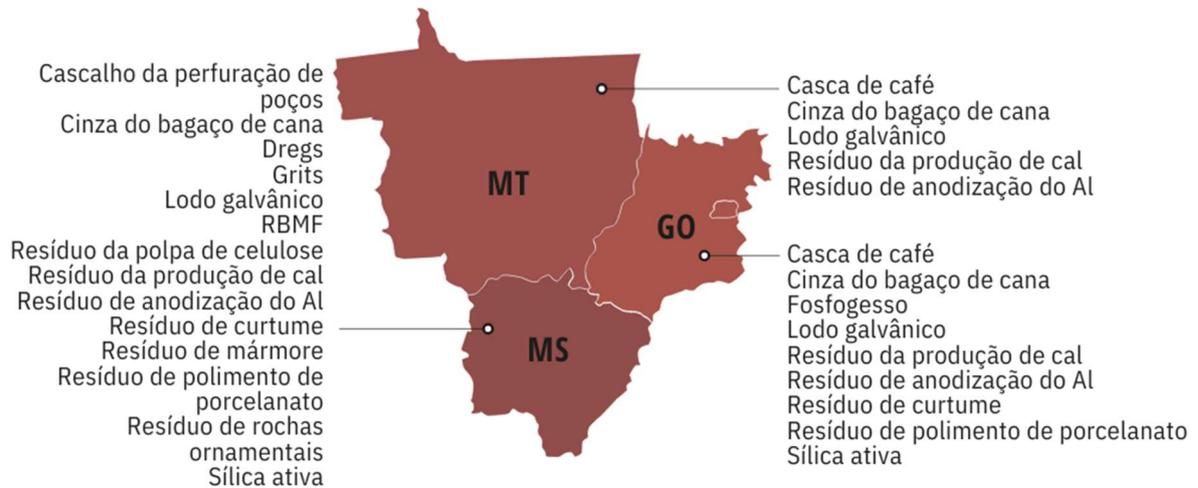
Os resíduos industriais considerados nesse estudo também são encontrados na região Nordeste. No entanto, eles não estão tão presentes quanto nas regiões Sul e Sudeste. Os estados da região Nordeste geram, em média, 12 dos 33 resíduos que não estão presentes em todos os estados. O estado do AL gera apenas 4 e o PI apenas 3. Portanto, é provável que AL e PI dependessem de outros estados da região se políticas públicas de incorporação de resíduos fossem implementadas. Isso

também pode indicar a possibilidade da BA, que é o estado com a maior variedade de resíduos da região, exportar resíduos para outros estados vizinhos. Vale lembrar que na região Nordeste se concentram alguns estados com baixa expansão territorial como SE, AL, PB e RN.

Ao contrário das regiões Sul e Sudeste, as regiões Norte e Centro-Oeste (Figura 10 e Figura 11) possuem menor população (IBGE, 2021) e menor variedade de resíduos que podem ser aplicados em matrizes cimentícias. Na região Centro-Oeste, destacam-se resíduos industriais considerados nesse estudo, mas a maioria deles não é oriunda de processos industriais elaborados. A presença dos resíduos de anodização do alumínio, lodo galvânico e resíduos de polimento de porcelanato ilustram esse fato. O estado do PA difere um pouco do panorama geral da região Norte, pois possui uma maior variedade de resíduos, principalmente resíduos relacionados ao ciclo de extração e beneficiamento do ferro.

A menor variedade de resíduos nas regiões Norte e Centro-Oeste provavelmente está relacionada ao desenvolvimento econômico tardio dessas regiões, uma vez que a colonização brasileira começou pela costa atlântica. Por esta razão, a maioria das maiores cidades brasileiras e das redes rodoviárias concentram-se no leste do país, o que resultou na urbanização e industrialização mais acelerada das regiões Sul, Sudeste e Nordeste (SOUSA, 2005). No último século, no entanto, políticas públicas foram lançadas para aumentar o desenvolvimento urbano e econômico das regiões Norte e Centro-Oeste (PEREIRA e LESSA, 2011). Dessa forma, gradativamente, mais indústrias estão se instalando nesses estados, o que aumentará também a geração de resíduos nessas regiões no futuro.

Figura 10 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Centro-Oeste



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no software Adobe Illustrator.

Figura 11 - Resíduos utilizados em matrizes cimentícias encontrados na região Norte



Fonte: elaborado por Vítor Freitas Mendes no software Adobe Illustrator.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo identificou, através de uma revisão bibliométrica, os 49 resíduos mais estudados por pesquisadores brasileiros nas últimas duas décadas que podem ser incorporados em matrizes cimentícias. Após a identificação dos resíduos, foram consultados dados públicos e privados a respeito da geração de resíduos no país para identificar os estados de geração desses resíduos. A partir da identificação dos estados, foram elaborados mapas com a listagem de resíduos encontrados em todo Brasil e encontrados em regiões específicas. As principais conclusões desta pesquisa estão relacionadas abaixo:

- Diversos artigos analisados confirmam a viabilidade de utilização desses 49 resíduos em matrizes cimentícias, o que contribui para a mitigação dos problemas causados pela disposição de resíduos e para a redução do consumo de recursos naturais utilizados na construção civil.
- Entre os resíduos mais estudados, destacam-se os resíduos de construção e demolição (RCD), cinzas da casca de arroz, resíduos de vidro, resíduos de pneu e cinzas do bagaço de cana-de-açúcar. 16 dos 49 resíduos considerados (33%) são gerados em todo o Brasil, e, portanto, o desenvolvimento de tecnologias para reaproveitamento e reciclagem desses resíduos deveria ser priorizado.
- Ainda há poucos estudos a respeito de alguns materiais considerados nesse estudo, como resíduos de tinta, cinzas de biomassa, resíduos de lã de vidro, lodo da indústria de papel, cascalho da perfuração de poços, lodo galvânico e resíduos de anodização do alumínio, apesar de eles estarem presentes na maioria dos estados brasileiros.
- Existem também diversos estudos sobre resíduos restritos a poucos estados, como o resíduo de bauxita, o RBMF e os resíduos de caulim. Ainda que o Brasil seja um dos maiores geradores de RBMF, a viabilidade utilização do resíduo precisa ser avaliada à luz dos impactos ambientais e econômicos do transporte do material, uma vez que sua ocorrência é restrita a poucas regiões. Portanto, é preciso investir em estudos para avaliar a viabilidade logística de reutilização desses resíduos.

- As regiões Sul e Sudeste, as mais industrializadas do Brasil, são responsáveis pela maior variedade de resíduos industriais, sendo, da mesma forma, as regiões com maior potencial para reaproveitá-los e reduzir os impactos provocados pela geração de resíduos.
- Algumas regiões possuem atividades econômicas mais específicas e, conseqüentemente, uma geração de resíduos menos diversificada. Como exemplo, na região Norte predominam resíduos geológicos, enquanto a região Centro-Oeste quase não possui resíduos desse tipo.

O mapeamento realizado permitiu avaliar o foco que deve ser dado ao aproveitamento de resíduos em cada região, contribuindo para o desenvolvimento de políticas públicas mais específicas para cada estado. A partir destes mapas, gestores públicos podem identificar o potencial de utilização de resíduos em seus estados, e pesquisadores científicos podem encontrar oportunidades de pesquisas. Para maximizar a aplicação de resíduos em matrizes cimentícias, é importante que haja uma maior integração entre indústrias e pesquisadores, facilitada pelos governos estaduais e federal. Ressalta-se que a metodologia utilizada neste estudo pode ser aplicada a qualquer outro país que deseje fazer investigações similares.

Recomenda-se como estudos futuros a comparação da quantidade de resíduos gerados com o potencial de produção local de compósitos cimentícios, a fim de se avaliar a viabilidade econômica-ambiental de reutilização de resíduos como SCM, agregados etc. Além disso, sugere-se georreferenciar os dados da geração de resíduos em um mapa com as principais rodovias, ferrovias e hidrovias do país para se ter uma visão mais clara da logística de reaproveitamento desses resíduos.

REFERÊNCIAS

ABCERAM. Associação Brasileira de Cerâmica, 2022. Disponível em: <<https://abceram.org.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ABICALÇADOS. **Relatório setorial: Indústria de calçados do Brasil 2021**. Novo Hamburgo. 2021.

ABIFA. **Anuário ABIFA 2020**. Associação Brasileira de Fundição. São Paulo. 2020.

ABIROCHAS. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. Brasília. 2018.

ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2018.

ABNT. **NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro. 2021.

ABRECON. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. São Paulo. 2022.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. São Paulo. 2021.

ACPA. ACPA Alumínio, 2022. Disponível em: <<http://acpa.com.br/empresa/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

AFGAN, Sher; BING, Chen. Scientometric review of international research trends on thermal energy storage cement based composites via integration of phase change materials from 1993 to 2020. **Construction and Building Materials**, v. 278, p. 122344, 2021.

AGÊNCIA SENADO. Isenção de IR prevista em lei de incentivo à reciclagem é restaurada. **Senado Notícias**, 2022. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/07/14/isencao-de-ir-prevista-em-lei-de-incentivo-a-reciclagem-e-restaurada>>. Acesso em: 18 jan. 2022.

AGUIAR, L. K.; MANNING, L. The role of informal and semi-formal waste recycling activities in a reverse logistics model of alternative food networks. In: AKTAS, E., B. M. **Food Supply Chains in Cities**. Cham: Palgrave Macmillan, 2020. p. 145-169.

AHMAD, W. *et al.* A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00683, 2021.

AHMADI, B.; AL-KHAJA, W. Utilization of paper waste sludge in the building construction industry. **Resources, conservation and recycling**, v. 32, n. 2, p. 105-113, 2001.

AIR LIQUIDE. Air Liquide, 2022. Disponível em: <<https://industrial.airliquide.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

AKHTAR, Ali; SARMAH, Ajit K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262-281, 2018.

ALFA. Alfa Cromagens e Niquelação, 2022. Disponível em: <<https://www.alfagalvanizacao.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

ALMEIDA, Alan C. *et al.* Evaluation of Partial Sand Replacement by Coffee Husks. **Journal of Environmental Science and Engineering**, v. 8, p. 129-133, 2019.

ALMEIDA, Fernando C. R. *et al.* Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. **Construction and Building Materials**, v. 82, p. 31-38, 2015.

ALMEIDA, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E. Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya sp.*) to produce cement-bonded particleboard. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 2, p. 159-163, 2002.

ALMESFER, Nasser; HAIGH, Chris; INGHAM, Jason. Waste paint as an admixture in concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 5, p. 627-633, 2012.

ALTIDIS, M. E. D. *et al.* Study of mechanical properties and development of concrete using sludge from textile industry. **Materials Science Forum**, v. 198-799, p. 554-557, 2014.

ALUMAN. ALUMAN Manufaturados de Alumínio Ltda, 2022. Disponível em: <<http://aluman.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ALUMÍNIO CUIABÁ. Alumínio Cuiabá Soluções em Alumínio, 2022. Disponível em: <<http://www.aluminiocuiaba.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ALUMINO POTIGUAR. Alumínio Potiguar, 2022. Disponível em: <<https://www.aluminiopotiguar.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ALUSUL. ALUSUL Alumínio e Silicone, 2022. Disponível em: <<https://alusul.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ANALUM. Analum, 2022. Disponível em: <<http://www.etiquetas.analum.com.br/index.html>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ANDRADE NETO, José D. S. *et al.* Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 266, p. 120959, 2021.

ANDRADE NETO, José S. *et al.* Influence of phosphogypsum purification with lime on the properties of cementitious matrices with and without plasticizer. **Construction and Building Materials**, v. 299, p. 123935, 2021.

ANDRADE, Humberto D. *et al.* Mechanical performance and resistance to carbonation of steel slag reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 298, p. 123910, 2021.

ANEEL. Sistema de Informações de Geração da ANEEL - Matriz por Tipo e Combustível Final, 2022. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

ANFACER. Setor Cerâmico Brasileiro em números. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres**, 2022. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/>>. Acesso em: 2 mar. 2022.

ANM. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. Agência Nacional de Mineração. Brasília. 2020.

ANODIMINAS. Anodimonas, 2022. Disponível em: <<https://www.anodiminas.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ANOSUL. ANOSUL Aluminium Protection, 2022. Disponível em: <<https://www.anosul.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

ANP. Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**, 2022. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ltNzBkMDNhY2IxZTlxliwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9&pageName=ReportSectiona7e464b5f6b4c4f7d0ab>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

ANUNCIATO, Vitor M. *et al.* Bambu: Versatilidade para quem sabe lucrar. **Revista Campo e Negócios**, Online, 10 jan. 2020. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/bambu-versatilidade-para-quem-sabe-lucrar/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.

ARAÚJO, S.R. *et al.* Reverse logistics system applied to the reuse of iron ore tailings. **Waste Management & Research**, v. 38, n. 12, p. 1429-1437, 2020.

AWOYERA, Paul O.; NDAMBUKI, Julius M.; AKINMUSURU, Joseph O. Characterization of ceramic waste aggregate. **HBRC journal**, v. 14, n. 3, p. 282-287, 2018.

AZEVEDO, Afonso R. G. *et al.* Addition of Paper Sludge Waste into Lime for Mortar Production. **Materials Science Forum**, v. 820, p. 609–614, 2015.

AZEVEDO, Afonso R. G. *et al.* Possibilities for the application of agro-industrial wastes in cementitious materials: A brief review of the Brazilian perspective. **Cleaner Materials**, v. 3, p. 100040, 2022.

AZEVEDO, Afonso R. G. *et al.* Effect of Granite Residue Incorporation on the Behavior of Mortars. **Materials**, v. 12, n. 9, p. 1449, 2019.

BALLESTEROS, Julian E. M. *et al.* Effect of mineral additions on the microstructure and properties of blended cement matrices for fibre-reinforced cement. **Cement and Concrete Composites**, v. 98, p. 49-60, 2019.

BANEVIČIENĖ, Vilma *et al.* The Possibilities of Paper Sludge Waste (PSw) Utilization in Cement Materials. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings**, v. 16, n. 1, p. 34, 2019.

BHARDWAJ, Bavita; KUMAR, Pardeep. Waste foundry sand in concrete: A review. **Construction and building materials**, v. 156, p. 661-674, 2017.

BHEEL, N.; MANGI, S. A.; LAL, S. Coconut shell ash as cementitious material in concrete: a review. **Jurnal Kejuruteraan**, v. 33, n. 1, p. 27-38, 2021.

BRAINER, Maria Simone D. C. P.; XIMENES, Luciano F. Produção de coco - soerguimento das áreas tradicionais do Nordeste. **Banco do Nordeste do Brasil**, v. ano 5, n. 127, 2020.

BRASIL. **Lei 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Brasília. 2010.

BRASIL. **Lei 14.260 de 8 de dezembro de 2021**. Brasília. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.936, de 12 de Janeiro de 2022**. Brasília. 2022a.

BRASIL. **Decreto nº 11.043, de 13 de Abril de 2022**. Brasília. 2022b.

BRASIL. **Decreto nº 11.044, de 13 de Abril de 2022**. Brasília. 2022c.

CANO, Telma M. Carvão Mineral. In: DNPM **Economia Mineral do Brasil - 2009**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 51- 69.

CAPPELLESSO, Vanessa G. *et al.* Potencial de uso de um resíduo de lodo de efluentes de indústrias de papel em matrizes cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro) [online]**, v. 25, n. 1, p. e-12577, 2020.

CARCHEL. Cachel Anodização e Coloração, 2022. Disponível em: <<https://carchel.com.br/anodizacao/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

CHEN, Ta-Lin; LIN, Sunlong; LIN, Zsay-shing. **An Innovative Utilization of Drilling Wastes as Building Materials**. E&P Environmental and Safety Conference. Galveston, Texas, U.S.A: E&P Environmental and Safety Conference. 2007.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília. 2022.

CONAB. Portal de Informações Agropecuárias. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2023. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/mapeamentos-agricolas.html>>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 416 de 30/09/2009**. Brasília. 2009.

CONCEIÇÃO, Maristela N. *et al.* Performance of tiles composed of blast furnace slag and vegetable fiber in prototype barns. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.

CONSOLI, Nilo Cesar *et al.* Enhancement of strength of coal fly ash–carbide lime blends through chemical and mechanical activation. **Construction and Building Materials**, v. 157, p. 65-74, 2017.

CORDEIRO, G. C.; TAVARES, L. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. **Cement and Concrete Research**, v. 89, p. 269-275, 2016.

CORREIA, J. M. F. *et al.* Plan to overcome barriers to reverse logistics in construction and demolition waste: Survey of the construction industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 2, p. 04020172, 2021.

COSENZA, José P.; ANDRADE, Eurídice M.; ASSUNÇÃO, Gardênia M. Economia circular como alternativa para o crescimento sustentável brasileiro: análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 16147, 2020.

COSTA, Ana Rita D. *et al.* Hydration of sustainable ternary cements containing phosphogypsum. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 28, p. e00280, 2021.

COSTA, Eugênio B. *et al.* Production and hydration of calcium sulfoaluminate-belite cements derived from aluminium anodising sludge. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 373-383, 2016.

COSTA, Rayara P. *et al.* Effect of soluble phosphate, fluoride, and pH in Brazilian phosphogypsum used as setting retarder on Portland cement hydration. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, p. e01413, 2022.

DEFÁVERI, K. C. S. *et al.* Glass wool residue: a potential supplementary cementitious material. **ACI Materials Journal**, v. 116, n. 4, p. 43-49, 2019.

DISPAN. Acabamentos - Galvanizado Eletrolítico (GE), 2022. Disponível em: <<http://www.dispan.com.br/acabamentos-galvanizacao-eletrolitica>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

DNPM. **Sumário Mineral 2011**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, p. 108-110. 2012.

DOS ANJOS, M. A. G.; SALES, A. T. C.; ANDRADE, N. Blasted copper slag as fine aggregate in Portland cement concrete. **Journal of Environmental Management**, v. 196, p. 607-613, 2017.

ECK, Nees J. V.; WALTMAN, Ludo. **VOSviewer Manual**. Universidade de Leiden. Leiden. 2022.

EMBRAPA. Mandioca em números. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros>>. Acesso em: 8 mar. 2022.

EUROPEAN STANDARD. **EN 197-1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements**. European Standard. Online. 2011.

EVANGELISTA, Neuza; TENÓRIO, Jorge A. S.; OLIVEIRA, José R. D. Pozolanidade dos resíduos industriais, lã de vidro e lã cerâmica. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 65, n. 1, p. 79-85, 2012.

FARINHA, Catarina B. *et al.* Life Cycle Assessment of Mortars with Incorporation of Industrial Wastes. **Fibers**, v. 7, n. 59, 2019.

FERDOUS, Wahid *et al.* Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction—A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 173, p. 105745, 2021.

FERRAZ, P.F.P. *et al.* Thermal analysis of cement panels with lignocellulosic materials for building. **Agronomy Research**, v. 18, n. S1, p. 797-805, 2020.

FONSECA, Camila S. *et al.* Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 211, p. 517-527, 2019.

FONTES, Wanna C. *et al.* Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams. **Construction and Building Materials**, v. 12, p. 988-995, 2016.

FONTES, Wanna C. *et al.* Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. **Ambiente Construído**, v. 18, p. 395-412, 2018.

FRÍAS, M. *et al.* Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 9, p. 1019-1023, 2012.

FURBERG, Anna; ARVIDSSON, Rickard; MOLANDER, Sverker. Environmental life cycle assessment of cemented carbide (WC-Co) production. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 1126-1138, 2019.

GALTEC. GalTec Galvanização Técnica Ltda, 2022. Disponível em: <<http://galtecrio.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

GANAPATHI, Harsh; PHUKAN, Mayuri. Environmental Hazards of limestone mining and adaptive practices for environment management plan. In: SINGH, R., S. P. . S. P. **Environmental Processes and Management**. Water Science and Technology Library: Springer, Cham, v. 91, 2020. p. 121-134.

GARCIA, S.; VICENS-SALORT, E.; NÄÄS, I. A. Investment in intermodal transportation in Brazil could benefit the country's agribusiness GDP growth. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 1, p. 90-98, 2015.

GODOY, Luis G. G. *et al.* Production of supplementary cementitious material as a sustainable management strategy for water treatment sludge waste. **Case Studies in Construction Materials**, v. 12, p. e00329, 2020.

GOMES, Leandro M. *et al.* Influence of cellulose pulp waste in plastering mortar. **Key Engineering Materials**, v. 634, p. 222-234, 2015.

GOMES, Samuel D. C. *et al.* Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, p. 148-159, 2019.

GRANHA LIGAS. Granha Ligas, 2022. Disponível em: <<http://granhaligas.com/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

GRUPO INCAL. Galvanização - Tratamento completo de superfícies metálicas, 2022. Disponível em: <<http://www.incal.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

GSL. GSL Metalúrgica, 2022. Disponível em: <<https://www.gsl.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

GUERRAL. Guerral, 2022. Disponível em: <<http://www.guerral.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

HAMMES, G. *et al.* Evaluation of the reverse logistics performance in civil construction. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119212, 2020.

HILDEBRANDO, Edemario A. *et al.* Synthesis and Characterization of Zeolite NaP Using Kaolin Waste as a Source of Silicon and Aluminum. **Materials Research**, v. 17, p. 174-179, 2014.

HOLANDA, Fernando D. C.; SCHMIDT, Holger; QUARCIONI, Valdecir A. Influence of phosphorus from phosphogypsum on the initial hydration of Portland cement in the presence of superplasticizers. **Cement and Concrete Composites**, v. 83, p. 384-393, 2017.

HOSSAIN, M. U. *et al.* Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 109948, 2020.

IBA. **Relatório Anual IBA 2021**. São Paulo. 2021.

IBG. Indústria Brasileira de Gases, 2022. Disponível em: <<http://www.ibg.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

IBGE. Logística dos Transportes. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/redes-e-fluxos-geograficos/15793-logistica-dos-transportes.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

IBGE. Cidades e Estados. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 22 maio 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>>. Acesso em: 23 mar. 2022.

IBGE. **Estimativas da População 2021**. Rio de Janeiro. 2021.

ICO. Coffee production by exporting countries. **International Coffee Organization**, 2020. Disponível em: <https://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics>. Acesso em: 08 mar. 2022.

INSITUTO AÇO BRASIL. **A Siderurgia em Números 2021**. Insituto Aço Brasil. Rio de Janeiro. 2021.

INSITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Insituto Aço Brasil. Rio de Janeiro. 2021.

JOCHEM, Lidiane F. *et al.* Study of the solidification/stabilization process in a mortar with lightweight aggregate or recycled aggregate. **Journal of Cleaner Production**, v. 326, p. 129415, 2021.

JOSHI, P. C.; KUMAR, R. Replacement of Cement with Fly ash and Coarse Aggregate with Coconut Shell in Concrete; a Literature Review. **Advances in Civil and Structural Engineering**, v. 5, n. 2, p. 1-8, 2020.

LEITE, Amália L. *et al.* Atividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, Campinas, 1, 2017. 7282-7286.

LI, X. *et al.* A systematic review of waste materials in cement-based composites for construction applications. **Journal of Building Engineering**, v. 45, p. 103447, 2022.

LILKOV, V. *et al.* Long term study of hardened cement pastes containing silica fume and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 60, p. 48-56, 2014.

LIMA, José M. G. **Desenvolvimento de Estudos para Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. J.Mendo Consultoria. Nova Lima - MG. 2010.

LIMA, Paulo R. L.; LEITE, Mônica B.; SANTIAGO, Edielia Q. R. Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW. **Waste Management**, v. 30, p. 1107-1113, 2010.

LST MAGNUS. LST Magnus Pintura Eletrostática e Anodização, 2022. Disponível em: <<http://www.lstmagnus.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

MAGALHÃES, Margareth D. S. *et al.* Influence of alkali addition on the setting and mechanical behavior of cement pastes and mortars with electric arc furnace dust. **Construction and Building Materials**, v. 214, p. 413-419, 2019.

MAGNO, Lucas. Ordenamento territorial da mineração no Brasil e conflitos ambientais. **Geografias**, v. 11, p. 84-107, 2015.

MARCHI, G. *et al.* Research Perspectives on the Use of Phosphogypsum in the Brazilian Cerrado. **Journal of Agriculture Food and Development**, v. 6, p. 22-30, 2020.

MARIANI, Bruna B. *et al.* Effect of the incorporation of TiO₂ waste (UOW) in the formation of the mineralogical phases of Portland clinker. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 57-71, 2019.

MARQUES, Fabrício. Growth in Numbers. **Revista FAPESP**, São Paulo, 01 mar. 2020. 40-43. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/en/growth-in-numbers-2/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.

MARQUES, Maria L. *et al.* Compatibility of vegetable fibers with Portland cement and its relationship with the physical properties. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 466-472, 2016.

MARQUES, Sheyla K. J. **Estudo da incorporação de cascalho proveniente da perfuração de poços de petróleo em formulações para tijolos de solo-cimento.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 185f. 2011.

MARTINS, Ana C. P. *et al.* Steel slags in cement-based composites: An ultimate review on characterization, applications and performance. **Construction and Building Materials**, v. 291, p. 123265, 2021.

MÁRTIRES, Raimundo A. C. Caulim. In: DNPM **Economia Mineral do Brasil - 2009.** Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 474-483.

MARVILA, Markssuel T. *et al.* Evaluation of the use of marble waste in hydrated lime cement mortar based. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21, p. 1250-1261, 2019.

MATOS, Paulo R. D. *et al.* Eco-friendly ultra-high performance cement pastes produced with quarry wastes as alternative fillers. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 122308, 2020.

MATOS, Paulo R. *et al.* Use of porcelain polishing residue as a supplementary cimentitious material in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 193, p. 623-630, 2018.

MATOS, Paulo R.; FOIATO, Maiara; PRUDÊNCIO JR., Luiz R. Ecological, fresh state and long-term mechanical properties of high-volume fly ash high-performance self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 203, p. 282-293, 2019.

MEDEIROS, Alisson G. *et al.* Evaluation of the mechanical and durability properties of eco-efficient concretes produced with porcelain polishing and scheelite wastes. **Construction and Building Materials**, v. 296, p. 123719, 2021.

MEDEIROS, Brunna L. D. A. V. *et al.* Resistance to the alkali-aggregate reaction of sustainable mortars produced with scheelite tailings in replacing natural sand aggregates. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e567101422209, 2021.

MEHO, L. I.; ROGERS, Y. Citation counting, citation ranking, and h-index of human-computer interaction researchers: a comparison of Scopus and Web of Science. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 59, p. 1711-1726, 2008.

MENDES JÚNIOR, Biágio D. O. **Setor têxtil – produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021**. Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.185, 2021. (Caderno Setorial Etene). Fortaleza. 2021.

MENDES JÚNIOR, Biágio D. O.; XIMENES, Luciano F. **Produção e perspectiva do setor de couro e calçados do Brasil, Nordeste, Ceará e Bahia**. Banco do Nordeste do Brasil, ano 5, n.148, jan. 2021. (Caderno Setorial ETENE, n.148). Fortaleza. 2021.

MENDES, Júlia C. *et al.* Coating mortars based on mining and industrial residues. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 5, p. 1569-1586, 2020.

MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 2022.

MOHAMMED, Abdulrahman; NEHDI, Moncef; ADAWI, Aiham. Recycling waste latex paint in concrete with added value. **ACI Materials Journal**, v. 105, n. 4, p. 367, 2008.

MOLIN FILHO, Rafael Germano D. *et al.* Self-compacting mortar with sugarcane bagasse ash: development of a sustainable alternative for Brazilian civil construction. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, p. 2125-2143, 2019.

MORATO, Teresa; VAEZI, Mahdi; KUMAR, Amit. Assessment of energy production potential from agricultural residues in Bolivia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 102, p. 14-23, 2019.

MOURA, Washington A.; GONÇALVES, Jardel P.; LIMA, Mônica B. L. Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete. **Journal of Materials Science**, v. 42, p. 2226-2230, 2007.

MYMRIN, V.; CORREA, S. M. New construction material from concrete production and demolition wastes and lime production waste. **Construction and Building Materials**, p. 578-582, 2007.

MYMRIN, Vsevolod *et al.* Efficient application of cellulose pulp and paper production wastes to produce sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, v. 263, p. 120604, 2020.

MYMRIN, Vsevolod *et al.* Environmentally clean materials from contaminated marine dredged sludge, wood ashes and lime production wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 307, p. 127074, 2021a.

MYMRIN, Vsevolod *et al.* Physical-chemical processes of sustainable construction materials Physical-chemical processes of sustainable construction materials anodizing sludge. **Construction and Building Materials**, v. 298, p. 123698, 2021b.

NASCIMENTO, Anny S. *et al.* Production of plaster mortar with incorporation of granite cutting wastes. **Journal of Cleaner Production**, v. 265, p. 121808, 2020.

NATALLI, J. F. *et al.* A review on the evolution of Portland cement and chemical admixtures in Brazil. **Revista IBRACON De Estruturas E Materiais**, v. 14, n. 6, 2021.

NORAL. NORAL Nordeste Alumínio, 2022. Disponível em: <<http://www.noral.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, André L. *et al.* The influence of partial replacement of natural sand aggregates by grits residues on the mechanical properties of an ecological mortar. **Journal of Building Engineering**, v. 26, p. 100912, 2019.

OLIVEIRA, A. L. *et al.* Chemical, Physical, and Morphological Characterization of Eco-Clinker Produced from Industrial Wastes. In: **Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2021**. The Minerals, Metals & Materials Series: Springer, Cham, 2021. p. 265-276.

OLIVEIRA, C. T.; LUNA, M. M.; CAMPOS, L. M. Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 562-573, 2019.

OLIVEIRA, Maysa L. Uma leitura CTS das relações entre ciência e cultura no Brasil: dos conteúdos assíncronicos aos diálogos possíveis e desejáveis. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 16, n. 40, p. 1-16, 2020.

OUR WORLD IN DATA. Global Food Explorer, 2022. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/explorers/global-food?facet=none&Food=Meat%2C+beef&Metric=Exports&Per+Capita=false&country=USA~DEU~FRA~GBR~BRA~ZAF>>. Acesso em: 18 fev. 2022.

PADMALAL, D.; MAYA, K. Impacts of River Sand Mining. In: , Sand Mining **Environmental Science and Engineering**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 31-56.

PANESAR, Daman K.; KANRAJ, Deepak; ABUALROUS, Yasar. Effect of transportation of fly ash: Life cycle assessment and life cycle cost analysis of concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 99, p. 214-224, 2019.

PARAHYBA, Ricardo E. Calcário Agrícola. In: DNPM **Economia Mineral do Brasil - 2009**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 536-545.

PARRÉ, José L.; GUILHOTO, Joaquim José M. The agrobusiness in the north and northeast regions of Brazil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 32, p. 68-94, 2001.

PELISSER, Fernando *et al.* Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, p. 757-763, 2011.

PEREIRA, Luiz A. G.; LESSA, Simone N. O processo de planejamento e desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 12, p. 26-46, 2011.

PINTO, C. A. *et al.* Tannery waste solidification and stabilization: Thermal and Mechanical Characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 77, p. 777-787, 2004.

PINTO, C. A. *et al.* Evaluation of S/S process of tannery waste in cement by structural and mechanical analysis. **Materials Science Forum**, v. 660-661, p. 1130-1136, 2010.

PINTO, Carolina A. *et al.* X-Ray Diffraction study of particulate tannery waste solidified in cement. **Materials Science Forum**, v. 530-531, p. 478-484, 2006.

PIR. **Panorama de los Recursos Globales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos**. Nairobi. 2019.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Sancionado decreto que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos e cria o Programa Nacional de Logística Reversa. **Casa Civil**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2022/janeiro/sancionado-decreto-que-regulamenta-a-politica-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

RIBEIRO, D. V. *et al.* Performance and radiological implications of using residue from TiO₂ production as a component of coating mortars. **Construction and Building Materials**, v. 306, p. 124885, 2021.

RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. Potential use of natural red mud as pozzolan for Portland cement. **Materials Research**, v. 14, n. 1, p. 60-66, 2011.

RIBEIRO, Luiz Carlos D. S. Characterization of Tourism Clusters in Brazil. **Tourism Economics**, v. 21, n. 5, p. 957-976, 2015.

RIBEIRO, Renan R. *et al.* Incorporation of Paint Waste from Furniture Painting Booth into Covering Mortar. **Materials Science Forum**, v. 881, p. 362-366, 2017.

RODRIGUES, Marco Antônio S.; VARGAS, Alexandre S. Evaluation of the Influence of PU/EVA Waste-Based Lightweight Aggregates on the Physical Properties of Alkali-Activated Mortars. **Key Engineering Materials**, v. 634, p. 278-287, 2015.

SAFIUDDIN, M.; RAMAN, S. N.; ZAIN, M. F. M. Utilization of quarry waste fine aggregate in concrete mixtures. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 3, n. 3, p. 202-208, 2007.

SALES, Almir; LIMA, Sofia A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, p. 1114-1122, 2010.

SALVO, M. *et al.* Biomass ash as supplementary cementitious material (SCM). **Advances in Applied Ceramics**, v. 14, n. sup1, p. S3-S10, 2015.

SARTOR. Sartor Galvanização, 2022. Disponível em: <<http://www.gsartor.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SCARLAT, Nicolae *et al.* A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 915-930, 2018.

SCHANKOSKI, Rudiele A. *et al.* Rheological properties and surface finish quality of eco-friendly self-compacting concretes containing quarry waste powders. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, p. 120508, 2020.

SEAX. SEAX Esquadrias, 2022. Disponível em: <<https://www.seaxesquadrias.com.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

SELLITTO, Miguel A.; ALMEIDA, Francieli A. D. Strategies for value recovery from industrial waste: case studies of six industries from Brazil. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 867-885, 2019.

SENTHAMARAI, RM.; MANOHARAN, P. D. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement and concrete composites**, v. 27, n. 9-10, p. 910-913, 2005.

SIDDIKA, Ayesha *et al.* State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 33, n. 5, p. 294-307, 2021.

SIDDIQUE, Salman *et al.* Sustainable utilisation of ceramic waste in concrete: Exposure to adverse conditions. **Journal of cleaner production**, v. 210, p. 246-255, 2019.

SILVA, Cassio R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. CRPM. Rio de Janeiro. 2008.

SILVA, Jussara A. D. *et al.* Análise das características físicas e propriedades mecânicas de argamassa com inserção de resíduos de madeira. **Matéria (Rio de Janeiro) [online]**, v. 26, n. 3, p. e13008, 2021.

SILVA, L. H. P. *et al.* Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 102769, 2021.

SILVA, Micael R. C. *et al.* Valorization of kaolin mining waste from the Amazon region (Brazil) for the low-carbon cement production. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00756, 2021.

SILVA, Roberto M.; GIULIETTI, Marco. Fosfogesso: geração, destino e desafios. In: CETEM **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 7, p. 125-144.

SILVA, Tulane R. *et al.* Application of Plastic Wastes in Construction Materials: A Review Using the Concept of Life-Cycle Assessment in the Context of Recent Research for Future Perspectives. **Materials**, v. 14, n. 13, p. 3549, 2021.

SINGH, Bhupinder. Rice husk ash. In: SIDDIQUE, Rafat; CACHIM, Paulo **Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications**. Online: Woodhead Publishing, 2018. p. 417-460.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. **Journal of environmental management**, v. 131, p. 1-6, 2013.

SNIC. **ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050**. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Rio de Janeiro. 2019.

SNIC. **Relatório Anual**. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Rio de Janeiro. 2020.

SOUSA, Marcos T. R. As etapas de estruturação dos meios de transporte no Brasil e o desenvolvimento desigual. **Geoambiente On-line**, v. 4, p. 01-12, 2005.

SOUZA, Antônio E.; FONSECA, David S. Fosfato. In: DNPM **Economia Mineral do Brasil - 2009**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2009. p. 546-568. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato>>. Acesso em: 2 fev. 2023.

SOUZA, Calors A. C. *et al.* Stabilization of Electric-Arc Furnace Dust in Concrete. **Materials Research**, v. 13, p. 513-519, 2010.

SOUZA, Fernando D. S. *et al.* Mapping and recycling proposal for the construction and demolition waste generated in the Brazilian Amazon. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 176, p. 105896, 2022.

SOUZA, J. M. *et al.* Mechanical and durability properties of compressed stabilized earth brick produced with cassava wastewater. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 103290, 2021.

SOUZA, Marcelo T. *et al.* Sustainable cement with Al-anodizing waste: Evaluating reactivity and feasibility as a shrinkage-compensating admixture. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101233, 2020.

STARCOLOR. STARCOLOR Proteção e Decoração de Alumínio, 2022. Disponível em: <https://starcolor.com.br/pt_BR/>. Acesso em: 3 mar. 2022.

STATISTA. Worldwide production of grain in 2021/22, by type, 31 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

TAZI, Nacef; IDIR, Rachida; FRAJ, Amor B. Towards achieving circularity in residential building materials: Potential stock, locks and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 124489, 2021.

TEIXEIRA, Júlia N. *et al.* Lignocellulosic materials for fiber cement production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2193-2200, 2020.

TORRES, Caio M. M. E. *et al.* Dregs and grits from kraft pulp mills incorporated to Portland cement clinker. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 22, n. 3, p. 851-861, 2020.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey**. Reston, Virginia, p. 202. 2022.

UNEP. **Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources**. Geneva. 2019.

UNEP. **2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. Nairobi. 2021.

USMAN, Muhammad *et al.* Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating wood waste as cement replacement: A feasibility study. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 679-688, 2018.

VALE. G1. **Vale transforma material que seria descartado em areia sustentável e reduz geração de rejeitos**, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/brumadinho-reparacao-e-desenvolvimento/noticia/2022/05/31/vale-transforma-material-que-seria-descartado-em-areia-susten-tavel-e-reduz-geracao-de-rejeitos.ghtml>>. Acesso em: 29 dez. 2022.

VEGAS, I. *et al.* Physical–mechanical behavior of binary cements blended with thermally activated coal mining waste. **Construction and Building Materials**, v. 99, p. 169-174, 2015.

VILLAR-COCIÑA, E. *et al.* A comparative study on the pozzolanic activity between bamboo leaves ash and silica fume: Kinetic parameters. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, p. 1627-1634, 2020.

WHITE MARTINS. White Martins, 2022. Disponível em: <<https://www.praxair.com.br/>>. Acesso em: 7 mar. 2022.

WINDOR. Windor Indústria e Comércio de Metais, 2022. Disponível em: <<https://www.windor.ind.br/>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

WORLD STEEL ASSOCIATION. Annual production steel data, 2021. Disponível em: <https://worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/annual-production-steel-data/P1_crude_steel_total_pub/CHN/IND>. Acesso em: 18 fev. 2022.

WUNI, I. Y.; SHEN, G. Q. P. ; OSEI-KYEI, R. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018. **Energy & Buildings**, n. 190, p. 69-85, 2019.

ZANELLA, B. P.; BARROS TRANNIN, I. C. Recycling residues from the pulp and paper industries in the civil construction. **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, p. 1115-1128, 2015.

ZULCÃO, Robson *et al.* Life cycle assessment of the ornamental stone processing waste use in cement-based building materials. **Construction and Building Materials**, v. 257, p. 119523, 2020.

APÊNDICE A – LISTA COMPLETA DE RESÍDUOS

Tabela 4 – Lista completa dos 49 resíduos estudados por brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias agrupados por palavras-chave semelhantes - Continua

| # | Resíduo | Nº de ocorrências |
|----|---|-------------------|
| 1 | construction and demolition waste / recycled aggregate / recycled aggregates / recycled concrete aggregate / construction waste / recycled aggregate concrete / cdw / concrete waste / recycled concrete / recycled concrete aggregates / c&d waste / construction & demolition waste / construction and demolition waste (cdw) / recycled sand / construction and demolition wastes / fine recycled aggregate / recycled coarse aggregate / cdw recycled aggregate / cdw recycling / concrete recycled aggregate / fine recycled aggregates / concrete recycling / recycled concrete aggregate (rca) | 181 |
| 2 | rice husk ash / rice husk / rice hull / rice husk silica / rice-husk ash | 30 |
| 3 | waste glass / glass / glass powder / glass waste / ground glass / flat glass powder / glass waste and civil construction / waste glass powder | 28 |
| 4 | rubber / tire / tire rubber concrete / tire rubber residue / waste tire rubber / rubber tire / rubber waste / rubberized concrete / rubberized mortar / tire rubber / waste rubber | 27 |
| 5 | sugarcane bagasse ash / sugar cane bagasse ash / sugarcane bagasse / sugarcane bagasse ash sand / sugar cane straw ash / sugar-cane bagasse ash / sugarcane bagasse ash sand (sbas) | 27 |
| 6 | agricultural wastes / agricultural waste / agricultural residues / agro-industrial residues / agroindustrial waste / vegetable waste / vegetable wastes | 26 |
| 7 | ceramic waste / red ceramic waste / ceramic tile waste / clay brick waste / clay ceramic waste / ceramic residue | 24 |
| 8 | wood ash / wood waste / eucalyptus grandis / sawdust / pinus spp./ pinus spp / pinus elliottii | 22 |
| 9 | red mud / bauxite residue | 18 |
| 10 | granite / granite waste / granite residue | 16 |
| 11 | iron ore tailings / iron ore / iron ore tailing | 12 |
| 12 | fly ash / coal fly ash | 11 |
| 13 | waste foundry sand / spent foundry sand / foundry exhaust sand | 11 |
| 14 | grits waste / grits / industrial solid waste (grits) | 10 |
| 15 | PET* / PET waste (*Polyethylene Terephthalate) | 10 |
| 16 | steel slag / steelmaking slag / basic oxygen furnace slag / bof slag | 10 |
| 17 | water treatment sludge / sewage sludge | 10 |

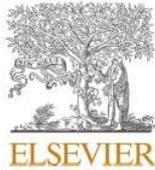
Tabela 4 – Lista completa dos 49 resíduos estudados por brasileiros com potencial de aplicação em matrizes cimentícias agrupados por palavras-chave semelhantes - Conclusão

| # | Resíduo | Nº de ocorrências |
|----------|--|--------------------------|
| 18 | marble waste / marble | 9 |
| 19 | silica fume | 7 |
| 20 | carbide lime | 6 |
| 21 | cellulose pulp | 6 |
| 22 | kaolin waste | 6 |
| 23 | lime production waste | 6 |
| 24 | ornamental stone waste / ornamental rock waste | 6 |
| 25 | paper sludge waste / paper waste / waste and paper | 6 |
| 26 | dregs | 5 |
| 28 | porcelain polishing residue / porcelain tile polishing residue | 5 |
| 27 | tannery waste | 5 |
| 29 | blast furnace slag | 4 |
| 30 | quarry waste | 4 |
| 31 | copper slag | 3 |
| 32 | glass wool residue | 3 |
| 33 | Al-anodizing waste | 2 |
| 34 | bamboo leaf ash | 2 |
| 35 | biomass ash | 2 |
| 36 | cassava wastewater | 2 |
| 37 | coal mining waste | 2 |
| 38 | coconut shell | 2 |
| 39 | coffee husk | 2 |
| 40 | electric-arc furnace dust | 2 |
| 41 | electroplating sludge | 2 |
| 42 | EVA* waste *Ethylene Vinyl Acetate | 2 |
| 43 | paint waste | 2 |
| 44 | phosphogypsum | 2 |
| 45 | plastic waste | 2 |
| 46 | scheelite residue | 2 |
| 47 | soil drilling waste | 2 |
| 48 | textile sludge | 2 |
| 49 | unreacted ore waste (uow) | 2 |

Fonte: elaborado pela autora.

APÊNDICE B – PUBLICAÇÕES

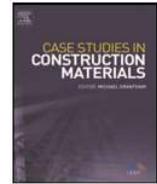
Case Studies in Construction Materials 18 (2023) e01763



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Case Studies in Construction Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cscm



Case study

Residues in cement-based composites: Occurrence mapping in Brazil

Carolina de Melo Nunes Lopes, Vítor Freitas Mendes^{*}, Danielle Rios Garcia, Júlia Castro Mendes

Post-Graduation Program in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais 35400-000, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Cement-based composites
Residues
Civil construction
Mapping
Bibliometric analysis

ABSTRACT

Scientific articles related to the incorporation of residues in civil construction materials are growing worldwide, although their practical application is still incipient. In this scenario, this paper produced an occurrence map of the most studied residues in Brazil when incorporated in cement-based composites. Initially, the most relevant residues were identified through a bibliometric analysis on the Scopus database, using the software VOSviewer. This analysis included scientific papers from Brazilian institutions published from 2001 to 2022 regarding the development of cement-based composites using residues, wastes, or tailings. Subsequently, to map the occurrence of these materials in each Brazilian state, we used public and private data on the country's industrial production and waste disposal. From 1272 articles analyzed, we identified 49 residues with at least 2 citations. Among the most cited residues in Brazilian publications are construction and demolition waste, rice husk, glass waste, sugarcane bagasse, and tire rubber residue. The authors noticed the heterogeneity of the occurrence of the residues across the large Brazilian territory and found gaps on research trends involving them. These and other observations facilitate the decision-making process regarding logistics and investments related to the reuse and recycling of these materials.

1. Introduction

With an estimated population of 213 million inhabitants and a territory of more than 8.5 million km² [1], Brazil has the 5th largest nominal GDP in the world (data from 2021) [2]. Due to this, Brazil is divided into 27 federative units (26 states and 1 federal district), which are grouped into 5 major regions: South, Southeast, Central-West, North, and Northeast. Economically, Brazil stands out in the mining [3], steel [4], pulp and paper [5], footwear [6], and agriculture [7] sectors. These industries generate a large volume of residues and cause serious impacts on the environment and society.

At the same time, the building sector is responsible for the significant extraction of natural resources and greenhouse gas emissions [8,9]. Currently, 50 billion tonnes of sand are extracted per year, an average of 18 kg per person per day [10]. According to the 2019

Abbreviations: AC, Acre; AP, Amapá; AM, Amazonas; PA, Pará; RR, Roraima; RO, Rondônia; TO, Tocantins; AL, Alagoas; BA, Bahia, CE, Ceará; MA, Maranhão; PB, Paraíba; PI, Piauí; PE, Pernambuco; RN, Rio Grande do Norte; SE, Sergipe; DF, Distrito Federal; GO, Goiás; MT, Mato Grosso; MS, Mato Grosso do Sul; ES, Espírito Santo; MG, Minas Gerais; RJ, Rio de Janeiro; SP, São Paulo; PR, Paraná; SC, Santa Catarina; RS, Rio Grande do Sul.

^{*} Corresponding author.

E-mail address: vitor.mendes@aluno.ufop.edu.br (V.F. Mendes).

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01763>

Available online 15 December 2022

2214-5095/© 2022 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

