



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CLENILDO DUDA DE LIRA E SILVA

**ESTUDO SOBRE A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO COMO AGREGADOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Caruaru

2024

CLENILDO DUDA DE LIRA E SILVA

**ESTUDO SOBRE A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO COMO AGREGADOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de construção civil.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Érika Pinto Marinho

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo a todos os membros da minha família que expressaram e demonstraram o seu apoio. Agradeço em especial a minha família mais próxima: Cléia Duda, Maria Vania e José Antônio, que sempre foram meus alicerces e demonstraram o maior apoio ao longo dessa jornada. Agradeço a vocês pelo amor, paciência e compreensão nos momentos complicados. Vocês estiveram ao meu lado, celebrando minhas conquistas e oferecendo ajuda e conforto nos momentos difíceis. Este trabalho é uma conquista nossa. Obrigado por acreditarem em mim e por serem minha motivação constante. Amo vocês!

Agradeço a Prof^ª. Dra. Érika Pinto Marinho, minha orientadora por ter me aceito como orientando, por ter me demonstrado apoio e pela paciência que teve comigo neste trabalho de conclusão de curso. Agradeço pelo conhecimento transmitido nas disciplinas que lecionou, e, por ter sido, como eu e meus colegas falávamos, quase uma mãe pela forma como nos acolhia e nos compreendia enquanto calouros. Também sou grato pela oportunidade que tive de passar 3 períodos sendo monitor da disciplina de Química Geral.

Agradeço a professora Dannúbia e ao Marllon por terem aceitado participar da banca avaliadora e estarem comigo nesta reta final. Agradeço aos professores e colegas da UFPE pela troca de conhecimentos e momentos compartilhados que enriqueceram minha formação. Agradeço em especial aos professores Anderson Viana, Danúbia Ribeiro, Débora Cristina, Érika Marinho, Flávio Diniz, Giuliana Bono, Jocilene Costa, Juliana Torres, José Moura, Maria Vitória, Roberto Evaristo, Saulo de Tarso e Washington de Lima.

Agradeço aos amigos que a faculdade me proporcionou: Ana Júlia, Anderson Mendes, André Inácio, Carolinne Tabosa, Elyaquim Torres, Flavianny Cavalcante, Gabriel Santiago, Gustavo Aguiar, João V. Mendes, Lucas Ferreira, Pedro Leonel, Saulo Macedo, Tacielly Nascimento e tantos outros. E agradeço aos amigos de longa data: Deivid Melo, Eliel Diniz, Letícia Araújo, Marcello Costa, Mirelly Maria, Renan Lucas, Roberto Nascimento, Vitória Régia e Wesley Campos.

Agradeço aos meus amigos que me ajudaram para a realização deste trabalho, seja tirando alguma dúvida ou mesmo demonstrando apoio e falando palavras de incentivo. Agradeço em especial a André Inácio, Gustavo Aguiar, Roberto Nascimento e Tacielly Nascimento.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional. Sem o apoio de vocês, não seria quem sou hoje.

Sou grato!

Estudo sobre a reutilização de resíduos de construção e demolição como agregados na produção de argamassa de revestimento.

Study on the reuse of construction and demolition waste as aggregates in the production of rendering mortar.

Clenildo Duda de Lira e Silva¹

RESUMO

Apesar de ser uma das atividades mais antigas da sociedade e crucial para a expansão socioeconômica, a construção civil é também um dos setores da engenharia que mais impactam o meio ambiente. A extração contínua de matérias-primas e a produção desenfreada de materiais acarretam sérios problemas, como é o caso dos grandes volumes de resíduos de construção e demolição (RCD) gerados. Nesse sentido, com o aumento das preocupações ambientais, surgem os estudos sobre reciclagem e reaproveitamento de resíduos, mantendo a qualidade exigida para materiais de construção. Assim, este trabalho justifica-se por propor um encaminhamento adequado dos RCD na engenharia civil, beneficiando o meio ambiente e também as economias locais. Este trabalho traz informações de alguns estudos da literatura sobre como estes agregados afetam as propriedades de argamassas de revestimento a fim de demonstrar a adequabilidade do seu uso para este fim. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica, utilizando-se da metodologia PRISMA para a seleção de vinte artigos, com critérios e um intervalo de tempo definido, que abordam essa temática. O número de vinte artigos oferece um equilíbrio entre diversidade, relevância e profundidade na análise de um tema. Os artigos foram avaliados quantitativamente e qualitativamente, e o software VOSviewer foi utilizado para uma análise mais profunda das relações entre os estudos. Os principais resultados dos estudos relativos às argamassas de revestimento foram reunidos. Em geral, os estudos concordam que níveis de até 30% de incorporação podem influenciar positivamente nas propriedades, especialmente quanto às resistências mecânicas e a capacidade de retenção de água, e respaldam sua adequação para produção de argamassas.

Palavras-chave: reaproveitamento de resíduos; argamassa de revestimento; agregados.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: clenildo.duda@ufpe.br

ABSTRACT

Despite being crucial for socioeconomic expansion, civil construction is one of the oldest activities and also one of the engineering sectors with the most impact on the environment. The continuous extraction of raw materials and the unrestrained production of materials cause serious problems, such as the large volumes of construction and demolition waste (CDW) generated. In this sense, with a growing increase in environmental concerns, studies on recycling and reuse of wastes are emerging, maintaining the necessary quality for construction materials. Thus, this work provides information from some literature studies on how these aggregates affect the properties of rendering mortars in order to demonstrate the suitability of their use for this purpose. For this purpose, a bibliographic review was carried out, using the PRISMA methodology to select twenty articles, with criteria and a defined time interval, that address this topic. The number of twenty articles offers a balance between diversity, relevance and depth in the analysis of a topic. The articles were evaluated quantitatively and qualitatively. The VOSviewer software was used for a deeper analysis of the relationships between the articles. The main results of the studies related to rendering mortars were gathered. In general, the studies agree that levels of up to 30% of incorporation can positively influence the properties of mortars, especially with regard to mechanical strength and water retention capacity, and support their suitability for mortar production.

Keywords: waste reuse; rendering mortar; aggregates.

DATA DE APROVAÇÃO: 24 de outubro de 2024.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil se destaca como uma das atividades mais antigas e é crucial para a expansão socioeconômica de um país. No entanto, é inegável que a extração contínua de matérias-primas e a produção de materiais provocam sérios problemas ambientais. Além disso, a destinação inadequada dos resíduos da construção e demolição (RCD) causa efeitos negativos também para a saúde pública, pois aumenta os riscos em enchentes, o assoreamento e a contaminação de corpos d'água e do solo (ABRECON, 2020).

De acordo com Brasileiro e Matos (2015), para minimizar os impactos ambientais da indústria da construção civil são necessárias muitas ações, entre elas: i) minimizar o consumo de recursos; ii) gastar mais tempo na fase de planejamento de projetos; iii) otimizar a utilização de materiais, diminuindo a produção de RCD; iv) maximizar a reutilização dos recursos; e v) evitar o uso de materiais cuja extração de matéria-prima cause danos ambientais. O alto volume de resíduos gerados na construção civil é considerado o de maior impacto por Ruviano *et al.* (2022).

Os resíduos da construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras ou ainda resultantes da preparação e da escavação dos terrenos. Alguns exemplos desse tipo de resíduo são: tijolos, cerâmicas, concreto e argamassas em geral, solos, madeiras, compensados, gesso, pavimento asfáltico e metralhas (ABNT, 2021).

As atividades do setor de construção exigem grandes quantidades de materiais, como é o caso da areia natural, geralmente obtida por meio da extração de sedimentos aluviais. Esse processo altera o perfil dos rios e afeta seu equilíbrio ecológico, além de causar mudanças em suas estruturas hidrológica e hidrogeológica (Brasileiro e Matos, 2015).

A quantidade de resíduos de construção e demolição produzidos depende de diversos fatores socioeconômicos e tecnológicos, sendo diferentes nos vários municípios brasileiros. As pesquisas da Associação Brasileira para a Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (ABRECON, 2020) indicam que são gerados em média 500 kg de RCD por habitante por ano. Entre as regiões brasileiras, observa-se que a região Nordeste ocupa a segunda posição na geração deste tipo de resíduo, ficando atrás apenas da região Sudeste.

A gestão de resíduos através da adoção de medidas como o reuso de RCD pode colaborar para tornar as atividades de engenharia sustentáveis e promover a geração de novos empregos para atuar no processo de conversão de entulho em agregado reciclado.

A necessidade de redução da extração de recursos naturais aliada à preocupação com a gestão dos RCD têm estimulado pesquisas sobre a reutilização de resíduos na produção de materiais para uso na engenharia civil.

Segundo Wedler e Hummel (1946), a primeira aplicação significativa e positiva de entulho ocorreu em larga escala após a Segunda Guerra Mundial, quando escombros foram britados e utilizados como agregados na reconstrução de cidades europeias, com os recursos disponíveis, destacando os benefícios da reciclagem de entulho.

Existem algumas alternativas com estratégias para o reuso na produção de resíduos de construção e demolição em concretos, ou projetos de pavimentação (Pimentel *et al.*, 2018).

Diversos estudos tratam da substituição de areia por RCD como agregado na composição de argamassas. Os autores concordam na necessidade de classificação dos agregados reciclados de acordo com sua composição e quanto a sua origem. Além dessa classificação, tem-se que outros fatores, como o teor de material pulverulento do RCD (FERREIRA *et al.*, 2019), também demandam atenção.

De acordo com Roque *et al.* (2020), o uso exclusivo de concreto britado como agregado, tem mostrado ganhos mais significativos no desempenho mecânico das argamassas. A reciclagem do concreto não apenas reduz a quantidade de resíduos, mas também pode melhorar a resistência e até a trabalhabilidade dos novos.

Jesus *et al.* (2021) observaram que reciclados específicos, como é o caso do agregado reciclado de resíduos cimentícios ou de concretos reciclados, tendem a apresentar melhor desempenho quando comparados a agregados mistos. Observaram também a possibilidade de redução do teor de cimento nas argamassas de revestimento através do uso de RCD.

Segundo Islam, Majumder e Mutsuddy (2024), a combinação de areia grossa e agregados reciclados finos é uma alternativa econômica que reduz o desperdício de construção e demolição, ainda sim, mantendo bom resultado.

Ruviaro *et al.* (2022) defendem que a incorporação de agregados reciclados resulta em uma redução das emissões líquidas de CO₂, o que destaca seu potencial para minimizar os impactos ambientais dos RCD.

Raeis *et al.* (2015) destacam que o potencial dos RCD em melhorar o desempenho da argamassa com o uso de aditivos, como a cal, e afirmam que as argamassas cimento-cal mostram desempenho superiores com o aumento de RCD, atribuído a um efeito sinérgico da hidraulicidade da cal e melhor densificação.

Os estudos de Ferreira *et al.* (2019) e Carasek *et al.* (2018) alertam para o efeito do teor de pó nas argamassas, e sugerem que grandes quantidades de pó podem levar ao aumento da fissuração das argamassas, o que pode ser evitado com uma simples lavagem do material.

Os estudos de Penacho, Brito e Veiga (2014) e Valean *et al.* (2024) sugerem que resíduos de vidro em argamassas de revestimento podem melhorar as propriedades quando as taxas de substituição estão entre 20 e 30%, devido ao potencial pozolânico das partículas de vidro. Porém, os autores observaram que substituições maiores que 50%, reduz o potencial de hidratação, indicando que essas seriam mais adequadas para revestimentos internos.

Antunes *et al.* (2019) observaram que resíduos de gesso podem ser efetivamente utilizados nas argamassas de cimento Portland, com até 30% de substituição sem comprometer o desempenho. Também, nota-se que o gesso melhora a consistência e a trabalhabilidade da mistura.

Cabrera *et al.* (2016) recomendam o emprego moderado de resíduos cerâmicos, alegando que a reação pozolânica do material contribui positivamente para a argamassa. Dang *et al.* (2018) observaram que resíduos, como tijolos triturados, podem ser reutilizados em argamassas.

A incorporação de RCD em materiais cimentícios demanda cautela e aplicá-la sem estudos o suficiente pode ser prejudicial para a qualidade das aplicações práticas. Roque *et al.* (2020), observaram que as argamassas modificadas demandam mais água para atingirem consistência adequada e tem efeitos também na absorção de água.

Como as argamassas de revestimentos são aplicadas em grandes áreas e com muita frequência nas obras, acredita-se que a incorporação de RCD neste tipo de argamassa terá maior impacto na gestão destes resíduos.

Para que o uso RCD em situações reais de argamassas de revestimento seja incentivado, são necessários mais estudos e testes sobre a influência destes resíduos nas propriedades dos estados fresco e endurecido das argamassas (Roque *et al.*, 2020), bem como avaliar o desempenho destas argamassas a longos prazos (Ruviano *et al.*, 2022).

Neste sentido, este trabalho traz um estudo sobre o estado da arte do uso de RCD em argamassas de revestimento. Este estudo é justificado por vários fatores, incluindo a proposta de uma gestão adequada dos RCD dentro do próprio setor. Para alcançar o objetivo deste trabalho, foi realizada uma revisão de literatura dos trabalhos recentes relativos à incorporação de diferentes tipos de resíduos da construção civil na produção de argamassas de revestimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a literatura existente sobre propriedades das argamassas de revestimento com RCD, a partir de um conjunto de artigos selecionados aplicando-se a metodologia PRISMA.

1.3.2 Objetivos específicos

Associados ao objetivo geral, o trabalho terá foco nos seguintes pontos:

- Reunir informações conclusivas sobre os efeitos da substituição de agregado natural por agregado reciclado em argamassas de revestimento;
- Identificar particularidades e diferenças dos experimentos selecionados, quanto à métodos e variações dos materiais usados e dos percentuais de substituição dos agregados;

2 METODOLOGIA

Este trabalho consiste na análise do estado da arte do tema reaproveitamento de RCD por meio da sua incorporação em argamassas de revestimento. Os resultados obtidos foram compilados considerando os requisitos para as argamassas de revestimento da norma NBR 13281 (ABNT, 2001), que impõe os critérios brasileiros aceitáveis para fatores mecânicos e reológicos desses materiais, estabelece as recomendações e determina os ensaios que devem ser feitos para as argamassas. Essas informações estão dispostas no Quadro 01.

Quadro 01 - Testes necessários e exigências mecânicas e reológicas para argamassas de revestimento

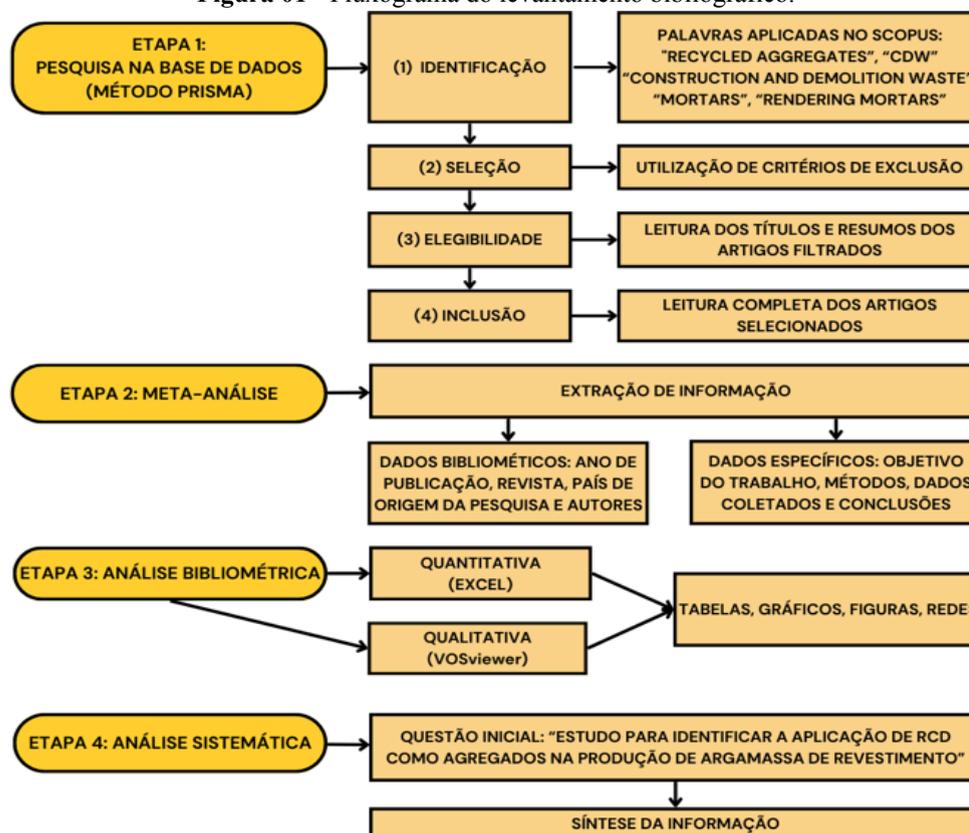
Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279
	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90	NBR 13277
	Alta	> 90	
Teor de ar incorporado (%)	a	< 8	NBR 13278
	b	≥ 8 e ≤ 18	
	c	> 18	

Fonte: Autor (2024)

Para isso, inicialmente foram realizados o levantamento e a análise dos artigos mais recentes nesta área. Adicionalmente, o estudo deste documento foi realizado a partir de um modelo híbrido, abordado por Pluye e Hong (2014), que envolve um conjunto de etapas e fases com o intuito de investigar a visão geral, aplicabilidade e os resultados obtidos.

Este modelo misto é usado para a combinação de pontos fortes dos métodos de abordagem quantitativa com os de métodos qualitativos, para compensar algumas de suas respectivas limitações. Assim, a pesquisa foi estruturada em quatro etapas, conforme ilustrado na Figura 01: (1) pesquisa na base de dados Scopus (Elsevier), (2) meta-análise para extração de informações, (3) análise bibliométrica com aspectos quantitativos e qualitativos e (4) análise sistemática de resultados obtidos.

Figura 01 - Fluxograma do levantamento bibliográfico.



Fonte: Autor (2024)

2.1 Pesquisa na base de dados

A busca foi realizada na base de dados Scopus (Elsevier), com acesso garantido pelo Portal da CAPES. A seleção dos documentos seguiu a metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que utiliza métodos sistemáticos para identificar e selecionar pesquisas relevantes para um tema, e coletar e analisar dados desses

estudos que são incluídos na revisão. O objetivo principal da metodologia PRISMA é assegurar que os estudos revisados sejam bem apresentados, facilitando a análise por outros pesquisadores.

Esta revisão envolve quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Moher *et al.*, 2010). Como critério de inclusão, foram considerados apenas artigos em inglês. Na etapa de identificação, utilizou-se a seguinte string de pesquisa: (“TITLE-ABS-KEY (“recycled aggregates” OR “CDW” OR “construction and demolition waste”) AND (“rendering mortars” OR “mortars”)), limitando a documentos publicados a partir de 2014 para incluir trabalhos mais recentes. Essa busca resultou em 1338 documentos.

A seleção aplicou critérios de exclusão listados no Quadro 02, eliminando resenhas de literatura, artigos de conferências, livros e capítulos, além de filtrar os trabalhos mais relevantes para o interesse da revisão. Os filtros adicionais incluíram as áreas de “engenharia”, “ciência dos materiais” e “ciência ambiental”, resultando em um total de 1000 artigos.

Quadro 02 - Critérios de busca da metodologia PRISMA.

Natureza	Descrição
Área de concentração de estudo	Ciência ambiental, engenharia e ciência dos materiais
Tipo de documento abordado	Artigo de pesquisa com versão final publicada em revista
Total de artigos escolhidos	20
Intervalo temporal	2014 - 2024
Idioma	Inglês
Tipo de incorporação	Substituição parcial e/ou total
Fatores de decisão	Existência de informações sobre objetivos e particularidades do estudo; da origem e/ou natureza dos RCD utilizados; dos materiais não reciclados usados; das porcentagens de incorporação; dos ensaios realizados para a avaliação da argamassa; e dos resultados obtidos

Fonte: Autor (2024)

Para a elegibilidade, foram analisados os títulos e resumos dos trabalhos filtrados, resultando numa seleção preliminar de 31 artigos para investigação mais profunda. Na etapa de inclusão, os 31 artigos foram lidos na íntegra, levando à exclusão de alguns deles, visto que a leitura completa do documento foi reveladora e mostrou que alguns não se alinhavam com o escopo desta revisão no sentido de que não tratavam especificamente da substituição parcial ou total no agregado para argamassas de revestimento.

Alguns casos, eram sobre a produção de argamassas de revestimento ecológicas, porém substituindo parte do cimento. Outros artigos, por exemplo, quando lidos, revelavam que, de forma geral, o título e o títulos e resumo chamavam de argamassas, porém, na realidade era um estudo sobre argamassas de assentamento ou autonivelantes

Dessa forma, a etapa de inclusão considerou os fatores de decisão e o escopo do estudo e levou à escolha final de 20 textos. O número de 20 artigos foi escolhido por ser considerado uma quantidade razoável e que oferece um equilíbrio entre diversidade, relevância e profundidade na análise de um tema.

Após a aplicação do método PRISMA na base de dados, os 20 artigos foram exportados na forma .csv para análise bibliométrica, compatível com o software VOSviewer. A metodologia provou ser eficaz na minimização de vieses na revisão sistemática, e as etapas de seleção aumentaram a eficiência da revisão e da análise, reduzindo o número de artigos analisados.

2.2 Meta-análise

Após a exportação dos dados bibliométricos, as informações foram categorizadas em dois grupos: o primeiro com dados sobre a bibliometria da publicação e o segundo com dados relacionados à publicação. As informações bibliométricas incluíram o ano de publicação, autores e país de origem. Já os dados das publicações foram utilizados na análise sistemática, abrangendo o objetivo do trabalho, métodos, dados coletados e principais conclusões.

2.3 Análise bibliométrica

Esta análise foi feita com índices de quantidade e qualidade, utilizando planilhas Excel para organizar dados e criar elementos gráficos com estatísticas que foram reunidos neste trabalho. Qualitativamente, o VOSviewer foi utilizado para construir redes bibliométricas. Nessas redes, os círculos e seus diâmetros representam elementos em análise e seu impacto na área de estudo, enquanto as espessuras das linhas indicam as conexões e sua força.

Foram criadas redes para co-autoria, mostrando relações entre autores, organizações e países; e redes para análise das relações citações entre os próprios estudos. Ainda sobre citações, foram identificados os artigos/autores mais citados para entender a contribuição de seu impacto na área de estudo.

2.4 Análise sistemática

Foram elaboradas tabelas de resumos de resultados coletados dos artigos reunidos e suas contribuições para a literatura, servindo como orientação para estudos futuros.

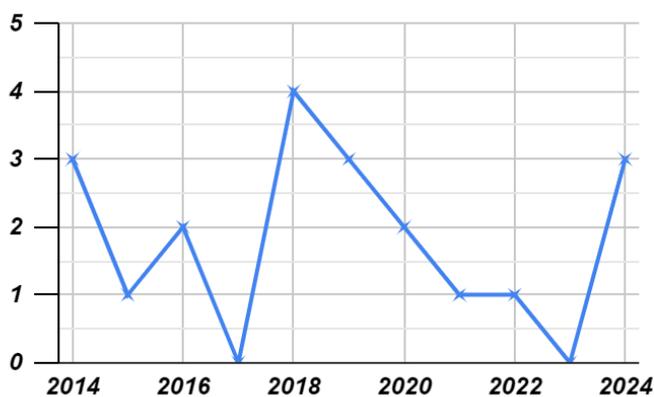
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os dados catalográficos, informações sobre os resíduos e materiais utilizados, taxas de incorporação e outras particularidades dos artigos selecionados. Em seguida, os principais ensaios realizados, e exigidos pela NBR 13281, para avaliar as características das argamassas e seus resultados serão discutidos. A partir dessas informações, buscou-se identificar relações e tendências nos resultados, considerando as semelhanças entre os estudos.

3.1 Indicadores da produção científica dos estudos selecionados

Após a aplicação dos passos da metodologia PRISMA, foram selecionados 20 artigos para análise bibliométrica, começando com trabalhos a partir de 2014. Para entender melhor a relevância do tema na comunidade científica global, foram analisadas as distribuições temporal e espacial dos estudos revisados. Na Figura 02, está ilustrada a quantidade de estudos selecionados por ano no período de 2014 a 2024.

Figura 02 - Evolução do número de publicações relacionadas ao tema no período de 2014-2024.



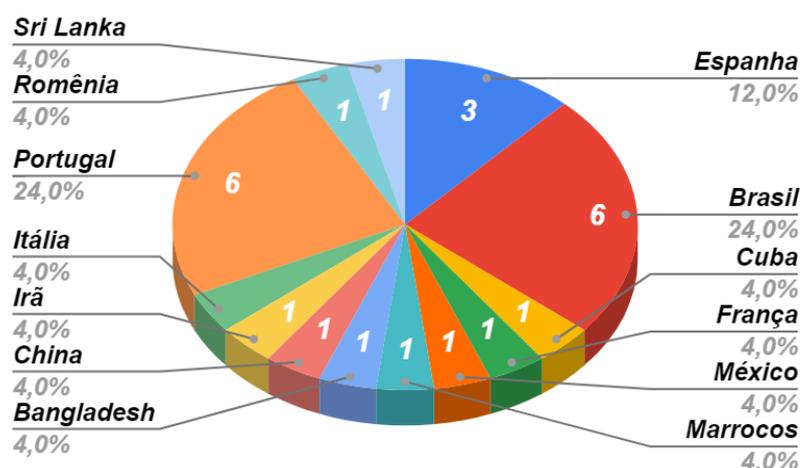
Fonte: Autor (2024)

Pela Figura 02, pode-se observar que a maioria dos trabalhos do período analisado está concentrada na última década, com um pico de interesse entre 2018 e 2020, representando 45% do total de artigos. Também, apesar da queda na produção sobre o tema entre 2021 e 2023, possivelmente por causa da influência da COVID-19 na produção acadêmica, a partir de 2024, há um crescimento significativo na quantidade de documentos por ano.

Isso pode indicar que a percepção acadêmica sobre o assunto está se alinhando aos esforços para tornar as atividades da engenharia civil cada vez mais sustentáveis, sugerindo a necessidade de novas pesquisas para abordar o tema de maneira abrangente.

Na Figura 03, é possível observar a distribuição espacial dos artigos por nacionalidade dos autores.

Figura 03 - Distribuição espacial dos estudos.



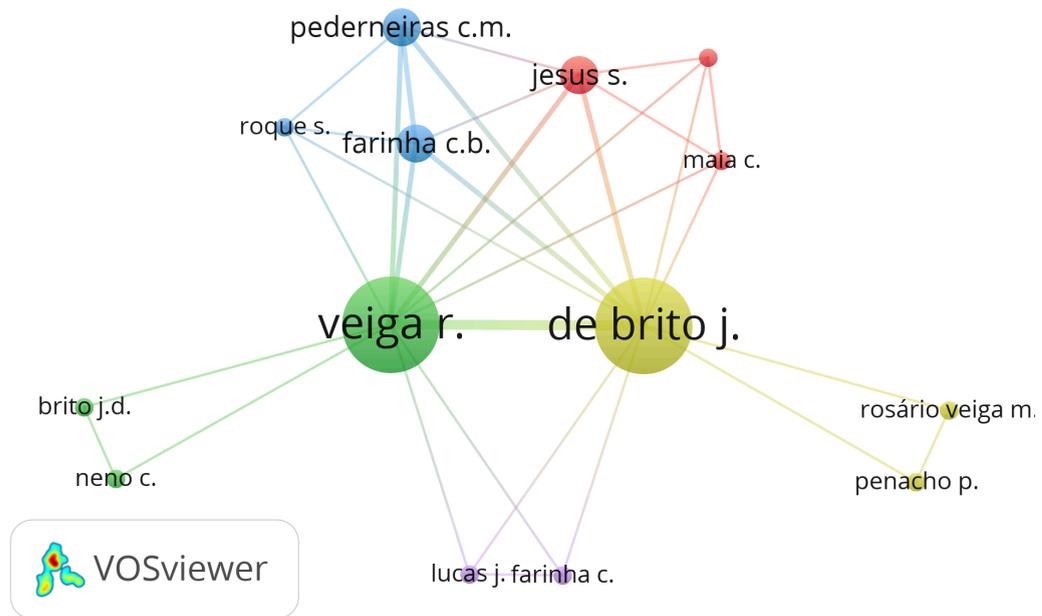
Fonte: Autor (2024)

De acordo com estes resultados, o Brasil destaca-se com 6 artigos de autores brasileiros, também sendo observado para Portugal. Entre os países mostrados na figura, quatro deles (China, Brasil, Bangladesh e México) estão entre os mais populosos do mundo, onde a engenharia civil é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico e da infraestrutura. Isso também pode evidenciar a necessidade de aprimorar a gestão dos recursos naturais disponíveis para atender ao crescimento desses países.

Segundo Van Eck e Waltman (2010), as análises de redes de coautoria ajudam a identificar a interação entre pesquisadores, suas instituições ou seus países por meio da quantidade de trabalhos realizados em colaboração. O software VOSviewer foi utilizado aqui para este propósito, de analisar as coautorias entre os autores dos artigos, facilitando a compreensão dessas relações entre eles.

Na análise feita, cada círculo representa um artigo, e este está identificado pelo(s) seu(s) autor(es), com seu diâmetro indicando o número de artigos publicados, e as linhas que conectam os círculos representam as cooperações, com a espessura dessa linha indicando a intensidade de cooperação. Então, a análise resultou em uma rede com 14 círculos (artigos de autores) e evidenciou os grupos de colaboração de pesquisa, conforme mostrado na Figura 04.

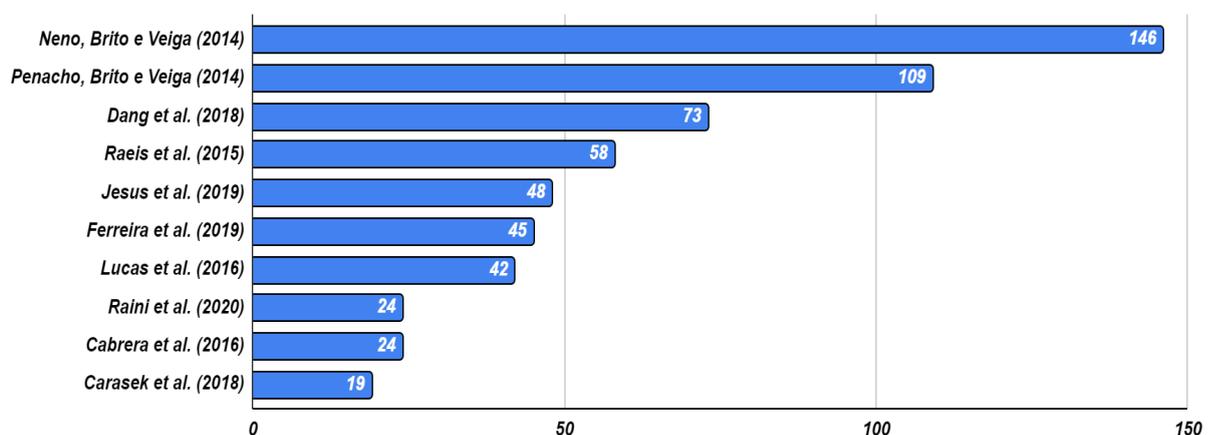
Figura 04 - Rede de coautorias entre autores dos artigos selecionados.



No conjunto de artigos, a ausência de conexões entre a maioria dos círculos revela uma baixa interação entre os autores e a dispersão dos trabalhos da área de estudo no período de tempo que o conjunto compreende. Também, dados analisados juntamente com Excel, mostram que a respeito de coautorias dos países das instituições das quais os autores fazem parte, a Espanha teve o maior número de co-autorias com pesquisadores de outros países (3 artigos), mas, apesar disso, apenas 4 dos 20 artigos contaram com autores de diferentes nações: Ferreira *et al.* (2019), Cabrera *et al.* (2016), Pavón *et al.* (2014) e Raini *et al.* (2020).

No total, os 20 artigos selecionados receberam 679 citações, com os 10 mais citados ilustrados em ordem decrescente na Figura 05.

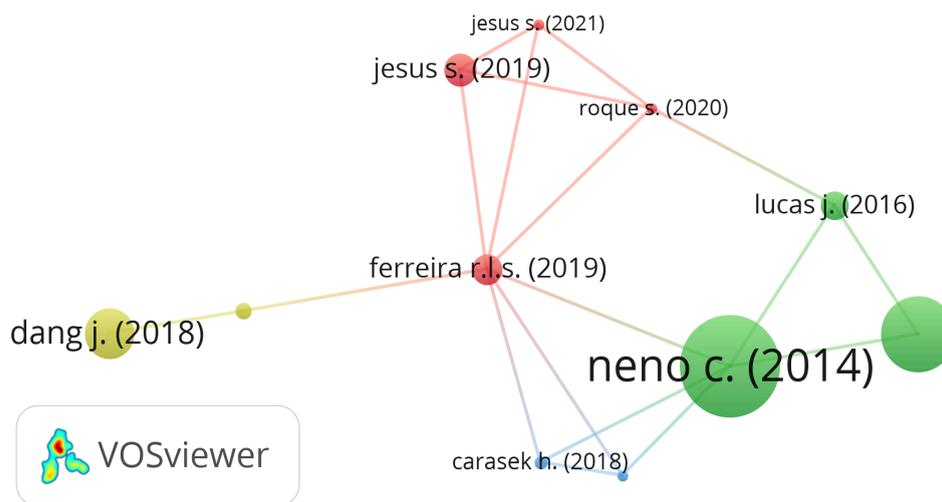
Figura 05 - Análise das citações dos artigos sobre a incorporação de resíduos.



Fonte: Autor (2024)

Para entender melhor as relações de citações entre os 20 documentos selecionados, foi criada outra rede de análise. Na Figura 06, está ilustrada essa rede, onde o tamanho do círculo indica o número total de citações recebidas pelo artigo, e as linhas entre os círculos representam as citações ocorridas entre os artigos do conjunto.

Figura 06 - Rede de citações entre os artigos sobre a incorporação de resíduos.



Fonte: Autor (2024)

As citações entre os artigos selecionados em uma revisão bibliográfica podem fornecer informações valiosas sobre a rede de conhecimento nesse campo de estudo. As interpretações que puderam ser notadas geralmente se deram por causa das colaborações ou de conexões e similaridades metodológicas de estudos com aspectos semelhantes ou que se complementam a respeito de alguma informação do tema. Também, é possível comentar a respeito da influência de certos artigos mais antigos e/ou amplamente reconhecidos que são citados mais frequentemente.

Nota-se que outros 9 estudos não foram incluídos na rede de citações do software, por não apresentarem conexões com os demais 11 artigos. O motivo que pode ser sugerido para este fato são as diferenças de métodos ou materiais empregados, o que pode evidenciar a necessidade de mais pesquisas em determinadas linhas de estudo para um conhecimento mais amplo da temática.

3.2 Escopo e particularidades

Apesar da diversidade de países e autores e das características individuais presentes nos 20 artigos selecionados, os objetivos principais dos estudos estavam claramente alinhados:

investigar a influência dos RCD nas propriedades e desempenhos das argamassas fabricadas. Então, é possível identificar semelhanças seja na abordagem ou nas conclusões dos trabalhos.

De maneira geral, os experimentos demonstraram um começo similar, onde os agregados reciclados eram obtidos de usinas de reciclagem ou produzidos. No segundo caso, os materiais eram selecionados de forma apropriada e realizava-se uma síntese controlada dos agregados reciclados. Após essa etapa, quase sempre seguida de análises granulométricas para comparação com o agregado natural, geralmente focando em partículas menores que 4 mm, as misturas eram preparadas e os testes realizados para seleção das melhores amostras.

Novamente, vários estudos analisados apresentaram semelhanças, seja no tipo de resíduo utilizado ou mesmo no fato de incorporarem mais de um tipo de de RCD. No entanto, há particularidades importantes. Ferreira *et al.* (2019), por exemplo, incluiu um agregado selecionado pelo tamanho de partícula entre 2,36 e 0,15 mm e um agregado lavado para avaliar o papel do teor de pó dos RCD no comportamento de suas argamassas produzidas. Já Jesus *et al.* (2019) focou na incorporação de partículas com tamanho inferior a 0,149 mm.

No documento de Carasek *et al.* (2018), os traços deveriam possuir em comum, além da mesma proporção, um teor total de finos equivalente, e como a areia natural apresentava um teor de material pulverulento menor, o uso de cal foi considerado para garantir a plasticidade adequada e um teor de finos total equivalente (Carasek *et al.*, 2018).

Outro caso interessante é o trabalho de Ruviaro *et al.* (2022), onde construiu-se uma parede externa para avaliar o desempenho das argamassas expostas em condições ambientais reais por 1.059 dias. A pesquisa de Raeis *et al.* (2015) buscou demonstrar que a adição de cal como ligante tem importância nas propriedades das argamassas mesmo quando contêm RCD.

O estudo de Pimentel *et al.* (2018) incluiu tanto uma argamassa convencional quanto uma argamassa hidráulica, que também pode ser utilizada em revestimentos internos e externos, além de outras aplicações. Jesus *et al.* (2021) investigaram a viabilidade de reduzir o teor de cimento em argamassas de revestimento ao mesmo tempo que incorporavam os RCD.

Heidari *et al.* (2018) buscou utilizar uma rede neural de retropropagação para tentar prever com precisão as propriedades mecânicas da argamassa. Enquanto isso, Islam, Majumder e Mutsuddy (2024) exploraram a aplicabilidade do agregado fino reciclado em comparação com agregados finos convencionais por meio da chamada Avaliação do Ciclo de Vida como método de abordagem.

Por fim, Antunes *et al.* (2019) é um estudo com análises estatísticas, como o “teste de Tukey”, para avaliar a significância de seus resultados e garantir conclusões robustas quanto à recomendação do uso de resíduos de gesso em argamassas.

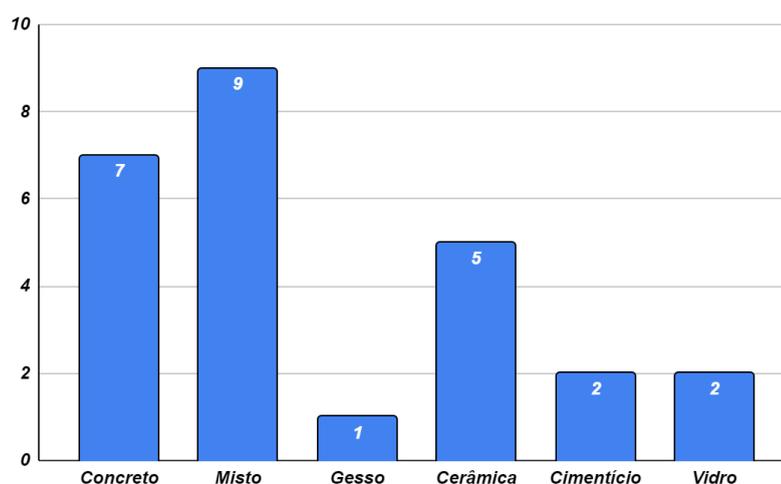
3.3 Sobre os resíduos reciclados e incorporações

Na seleção de artigos analisados, constatou-se a presença de diversos tipos de RCD empregados. Os agregados reciclados com maior recorrência de aparição nos estudos foram os chamados agregados reciclados mistos, seguidos, respectivamente, pelos agregados reciclados de concreto e agregados reciclados de materiais cerâmicos.

Os agregados com RCD aqui chamados de mistos são aqueles constituídos de misturas de materiais cimentícios e cerâmicos. Ademais, nota-se que houve estudos que utilizaram reciclados cimentícios, e, que alguns estudos usaram outros tipos materiais, como o gesso (Antunes *et al.*, 2019) e vidro (Penacho, Brito e Veiga, 2014; Valean *et al.*, 2024).

Na Figura 07, é possível observar a representação visual da quantidade de ocorrências de cada tipo de RCD nos artigos selecionados para esta revisão.

Figura 07 - Quantidade das ocorrências por tipos de agregados reciclados nos estudos.



Fonte: Autor (2024)

Para fins de esclarecimento, a soma do total de aparições apresentada na figura é superior ao número de artigos revisados. Isso se deve ao fato de que alguns dos estudos analisados utilizaram mais de um tipo de agregados reciclados em suas abordagens, resultando em múltiplas contagens para um único artigo.

Quanto às fontes dos RCD, os autores dedicaram-se a especificar de maneira detalhada os locais de obtenção ou os processos de seleção dos materiais utilizados, bem como a síntese dos agregados com RCD que foram empregados em suas investigações, sempre seguindo os procedimentos das normas e regulamentações de seus respectivos países de instituição, garantindo assim a conformidade e a qualidade dos materiais empregados nos trabalhos.

Além disso, como mencionado anteriormente, observou-se uma significativa variação nos materiais empregados nos diferentes estudos analisados. Essa diversidade é um reflexo das diferentes abordagens e metodologias adotadas por cada equipe de pesquisa, o que enriquece a discussão sobre a reutilização e reciclagem de resíduos na construção civil.

Assim sendo, a Tabela 01 foi elaborada para compilar as informações relevantes a respeito dos tipos e origens dos resíduos reciclados utilizados em cada estudo do conjunto selecionado para esta revisão.

Tabela 01 - Informações sobre o tipo e a origem de RCD encontrados na revisão.

Autores	Tipo de resíduo do agregado (material)	Origem do resíduo
Antunes <i>et al.</i> (2019)	Resíduos de gesso	Resíduos de origem controlada
Cabrera <i>et al.</i> (2016)	Resíduos de cerâmica	Resíduos de origem controlada
Carasek <i>et al.</i> (2018)	Reciclado misto e reciclado cimentício	Usina de reciclagem
Dang <i>et al.</i> (2018)	Resíduos de tijolos cerâmicos	Resíduos de origem controlada
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	Reciclado misto	Usina de reciclagem
Heidari <i>et al.</i> (2018)	Reciclado misto	Resíduos de origem controlada
Islam, Majumder e Mutsuddy (2024)	Reciclado de concreto	Resíduos de origem controlada
Jesus <i>et al.</i> (2019)	Reciclado de concreto e reciclado misto	Usinas de reciclagem
Jesus <i>et al.</i> (2021)	Reciclado cimentício e reciclado misto	Usina de reciclagem
Lucas <i>et al.</i> (2016)	Resíduos de louças sanitárias	Rejeitos de louças sanitárias
Neno, Brito e Veiga (2014)	Reciclado de concreto	Resíduos de origem controlada
Pavón <i>et al.</i> (2014)	Resíduos de cerâmica, mistos e de concreto	Resíduos de origem controlada
Penacho, Brito e Veiga (2014)	Resíduos de vidro	Resíduos de origem controlada
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	Reciclado misto	Usina de reciclagem
Raeis <i>et al.</i> (2015)	Reciclado de concreto	Resíduos de origem controlada
Raini <i>et al.</i> (2020)	Resíduos de tijolos e resíduos de concreto	Resíduos de origem controlada
Roque <i>et al.</i> (2020)	Resíduos de concreto e resíduos mistos	Usina de reciclagem
Ruviaro <i>et al.</i> (2022)	Resíduos mistos	Usina de reciclagem
Sathiparan (2024)	Resíduos de alvenaria	Resíduos de origem controlada
Valean <i>et al.</i> (2024)	Resíduos de vidro	Resíduos de origem controlada

Fonte: Autor (2024)

Em resumo, apesar de muitos resíduos empregados serem oriundos de usinas de reciclagem, a grande maioria dos resíduos utilizados nos estudos foram sintetizados pelos próprios autores, de acordo com procedimentos de laboratório. Isso indica a viabilidade de produzir esses materiais mesmo que em volumes razoáveis.

Observa-se a variedade de resíduos utilizados como agregados reciclados nos trabalhos, revelando uma diversidade de possíveis materiais disponíveis para reaproveitamento na construção civil.

Entre os resíduos mais investigados, destacam-se os resíduos mistos, de cerâmica e concreto, que são os resíduos gerados de maior volume nas obras. A inclusão de outros tipos de resíduos também reflete a busca por soluções inovadoras na engenharia civil, permitindo a utilização de materiais que, de outra forma, seriam descartados.

Além disso, a presença de agregados com RCD mistos pode sugerir uma tendência de combinar diferentes resíduos para tentar otimizar as propriedades dos materiais resultantes. Essa abordagem pode contribuir para a melhora da performance das argamassas de revestimento, aproveitando características específicas de cada tipo de resíduo.

Essa diversidade de materiais ressalta a viabilidade de práticas de reuso e a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o comportamento e as propriedades de variados materiais reciclados como agregados reciclados nas argamassas de revestimento.

A análise dos artigos selecionados mostrou uma grande diversidade nas porcentagens de substituição do agregado natural por agregados de resíduos de construção e demolição. Para melhor visualização, todas as informações a respeito dos materiais, porcentagens e proporções entre cimento e agregados adotadas estão reunidas na Tabela 02.

Tabela 02 - Percentuais de troca do agregado natural por RCD e traços das misturas de acordo com os artigos.

Autores	% de incorporação	Cimento utilizado	Proporção de mistura
Antunes <i>et al.</i> (2019)	10%, 20% e 30%	Cimento CII F-32	1:3
Cabrera <i>et al.</i> (2016)	10%, 20%, 30%, 50% e 100%	Cimento Portland CEM I 42.5 NSR	1:4
Carasek <i>et al.</i> (2018)	100%	Cimento Portland CP II Z-32 RS	1:5,8 (reciclado) 1:1:5,8 (natural+cal)
Dang <i>et al.</i> (2018)	25%, 50%, 75%	Cimento Portland Comum	1:3
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	25%, 50%, 75% e 100%	Cimento Portland Pozolânico	1:1:6 (uso de cal)
Heidari <i>et al.</i> (2018)	10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%	Cimento do tipo 1-525 (padrão ISIRI 389)	1:2 1:2,5 1:3
Islam, Majumder e Mutsuddy (2024)	25%, 50%, 75%, 100%	Cimento Portland Comum	1:2,75
Jesus <i>et al.</i> (2019)	15% e 20%	Cimento CEM II B-L 32.5N	1:4 1:5 1:6
Jesus <i>et al.</i> (2021)	10%, 15% e 20%	Cimento CEM II B-L 32,5 N	1:4
Lucas <i>et al.</i> (2016)	20%, 50% e 100%	Cimento CEM II B-L 32,5N	1:4
Neno, Brito e Veiga (2014)	20%, 50% e 100%	CEM II B-L Classe 32,5 N	1:4
Pavón <i>et al.</i> (2014)	100%	Cimento P-350 (35 MPa)	1:1:5 (uso de cal)
Penacho, Brito e Veiga (2014)	20%, 50% e 100%	Cimento CEM II B-L 32,5 N	1:4
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	30% e 60%	Cimento tipo CP III	1:6,1
Raeis <i>et al.</i> (2015)	25%, 50% e 100%	Cimento tipo II B-P 32.5N	1:3 1:1:6 (uso de cal)
Raini <i>et al.</i> (2020)	15%, 30%, 45% e 90%	Cimento tipo CPJ 45 - de acordo com a NM 10.1.004)	1:3
Roque <i>et al.</i> (2020)	20%, 50% e 100%	Cimento CEM II/B-L 32.5N	1:4
Ruviaro <i>et al.</i> (2022)	30%	Cimento Portland de cinzas	1:2:8 (uso de cal)
Sathiparan (2024)	25%, 50% e 75%	Cimento Portland Comum	1:6
Valean <i>et al.</i> (2024)	15%, 30% e 45%	Cimento tipo CEM II/B-M (S-LL) 42.5 R (STRUCTO+)	1:3

Alguns autores fizeram substituições de até 100%, enquanto outros optaram por porcentagens menores, entre 10 e 50%, a fim de garantir a qualidade e a resistência dos materiais.

De maneira similar, os tipos de cimentos registrados nos estudos foram variados, cada um sendo misturado em proporções distintas com os agregados reciclados.

Dentre os traços de mistura mais comumente encontrados, destacaram-se os traços de 1:3 e 1:4. Essa diversidade de porcentagens, materiais e traços reflete a busca por soluções que atendam às normas e especificações, ao mesmo tempo que promovem a sustentabilidade na construção civil.

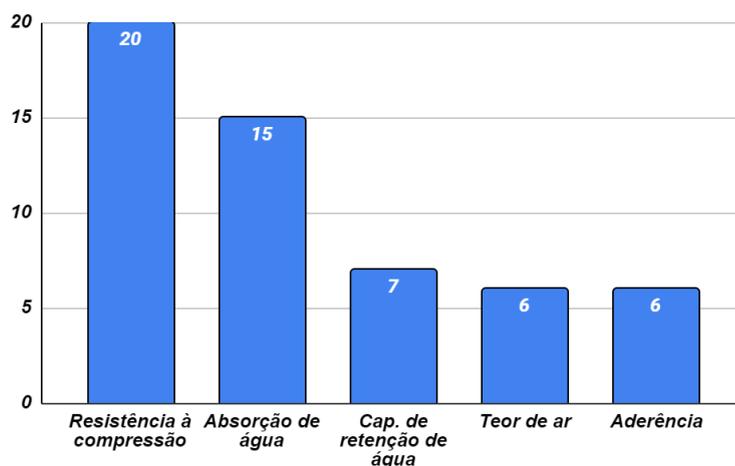
3.4 Ensaios realizados

Para avaliar o desempenho das argamassas incorporadas com RCD, os autores analisados escolheram diversos ensaios. Os testes incluíram métodos tradicionais e alguns ensaios menos convencionais, que foram aplicados tanto ao estado fresco quanto ao estado endurecido das argamassas de revestimento. É importante destacar que os procedimentos seguiram rigorosamente as diretrizes e recomendações aceitas nas localidades onde os estudos foram realizados

Os estudos contemplaram tópicos como: densidade, consistência, teor de material pulverulento, porosidade, trabalhabilidade, resistência à abrasão, permeabilidade à água, retração por secagem, absorção de água, composição dos materiais, curva de tensão-deformação, módulo de elasticidade, retenção de água, teor de ar, análises com redes neurais, análise termogravimétrica, testes com envelhecimento artificial acelerado, tendência de segregação, microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X e ensaios mecânicos de resistências.

Essa diversidade de métodos reflete a abrangência e profundidade das investigações sobre as argamassas incorporadas. Adicionalmente, Sathiparan (2024), especificamente, conduziu um estudo que aborda um tópico diferente ao investigar sobre a resistência ácida e alcalina em suas argamassas. Essa resistência é uma característica importante relacionada à durabilidade, especialmente contra agentes corrosivos, e à integridade do material em ambientes mais agressivos.

Na Figura 08, são ilustrados os ensaios realizados que mais se repetiram nos trabalhos investigados.

Figura 08 - Quantidades de estudos por ensaio de desempenho.

Fonte: Autor (2024)

O ensaio de resistência à compressão esteve presente em todos os artigos, sendo as idades mais comumente analisadas as de 7, 14 e 28 dias.

A absorção de água das argamassas foi tópico estudado nos seguintes documentos: Antunes *et al.* (2019); Carasek *et al.* (2018); Dang *et al.* (2018); Ferreira *et al.* (2019); Heidari *et al.* (2018); Islam, Majumder e Mutsuddy (2024); Jesus *et al.* (2019); Jesus *et al.* (2021); Lucas *et al.* (2016); Sathiparan (2024); Neno, Brito e Veiga (2014); Pavón *et al.* (2014); Pimentel *et al.* (2018); Raeis *et al.* (2015) e Roque *et al.* (2020).

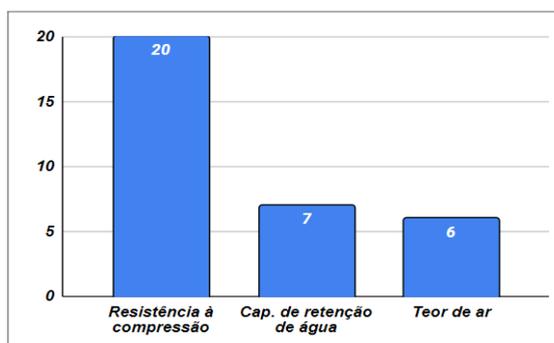
Já a capacidade de retenção de água foi abordada nos trabalhos de Ferreira *et al.* (2019); Lucas *et al.* (2016); Neno, Brito e Veiga (2014); Pavón *et al.* (2014); Penacho, Brito e Veiga (2014); Pimentel *et al.* (2018) e Roque *et al.* (2020).

O estudo do teor de ar, por sua vez, se faz presente nos estudos de Ferreira *et al.* (2019); Jesus *et al.* (2019); Jesus *et al.* (2021); Lucas *et al.* (2016); Penacho, Brito e Veiga (2014) e Pimentel *et al.* (2018).

Por fim, Ferreira *et al.* (2019); Jesus *et al.* (2021); Lucas *et al.* (2016); Neno, Brito e Veiga (2014); Ruviano *et al.* (2022) e Valean *et al.* (2024) investigaram a aderência de suas argamassas.

3.4 Resultados de ensaios

A norma NBR 13281 (ABNT, 2001) determina os ensaios que devem ser feitos para as argamassas de revestimento. A análise quantitativa dos ensaios especificados pela norma é apresentada na Figura 09.

Figura 09 - Quantitativo de aparições dos estudos que são exigências segundo a NBR 13281

Fonte: Autor (2024)

Observa-se, a partir dos resultados da Figura 09, a tendência internacional na realização do ensaio de resistência à compressão, destacando sua importância na pesquisa. As principais idades analisadas foram 7, 14 e 28 dias, embora alguns estudos também considerassem 1, 3 e 90 dias.

Na Tabela 03, são mostradas as informações sobre as idades analisadas pelos autores dos estudos, bem como contém os melhores resultados das argamassas com RCD para o ensaio de resistência à compressão (em MPa) na idade maior considerada pelos autores, além da porcentagem de incorporação que obteve o resultado.

Tabela 03 - Resultados de resistência à compressão de argamassas com RCD.

Autores	Idades analisadas (dias)	Idade do resultado (dias)	Incorporação (%)	Resistência à compressão na idade maior (MPa)
Antunes <i>et al.</i> (2019)	14 e 28	28	30%	8,4 (-7,69%)
Cabrera <i>et al.</i> (2016)	90	90	20%	30,5 (+1,5%)
Carasek <i>et al.</i> (2018)	28	28	100%	5,2 (-3,70%)
Dang <i>et al.</i> (2018)	3, 7 e 28	28	25%	43,5 (+16%)
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	28 e 91	91	100%	10,5 (+16,66%)
Heidari <i>et al.</i> (2018)	1, 7 e 28	28	20%	58,06 (+0,001%)
Islam, Majumder e Mutsuddy (2024)	3, 7 e 28	28	25%	48,25 (+42,75%)
Jesus <i>et al.</i> (2019)	28 e 90	90	20%	8,6 (+109,25%)
Jesus <i>et al.</i> (2021)	28 e 90	90	20%	8,6 (+109,75%)
Lucas <i>et al.</i> (2016)	28, 90 e 120	120	20%	4,25 (+6,25%)
Neno, Brito e Veiga (2014)	28	28	100%	7,38 (+88,74%)
Pavón <i>et al.</i> (2014)	28	28	100%	6,5 (-14,47%)
Penacho, Brito e Veiga (2014)	28 e 90	90	50%	7,04 (+33,84%)
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	28	28	30%	5,86 (-17,7%)
Raeis <i>et al.</i> (2015)	28	28	25%	19,5 (-22%)
Raini <i>et al.</i> (2020)	2, 7 e 28	28	15%	32,1 (-4%)
Roque <i>et al.</i> (2020)	28 e 90	90	20%	4 (-2,5%)
Ruviaro <i>et al.</i> (2022)	7, 14 e 28	28	30%	4,99 (-17%)
Sathiparan (2024)	7 e 28	28	25%	6,9 (+58,2%)
Valean <i>et al.</i> (2024)	3, 7, 14 e 28	28	30%	29,9 (+19,73%)

Fonte: Autor (2024)

Em geral, a resistência à compressão atinge valores significativos nas primeiras semanas e continua a se desenvolver por meses e até mesmo anos. Portanto, é interessante analisar resultados que contemplem o desempenho ao longo de um maior tempo.

Lucas *et al.* (2016) analisaram a resistência à compressão das argamassas ao longo de 120 dias. As argamassas com RCD apresentaram uma redução maior na resistência com o tempo, cerca de três vezes maior do que a de referência. Apesar disso, a argamassa com reciclados apresentou resistência à compressão superior à argamassa de referência (+6,25% aos 120 dias), sugerindo que a utilização de RCD pode ser uma alternativa viável para a produção de argamassas, mesmo no caso de uma maior redução na resistência ao longo do tempo.

Sobre os resultados deste ensaio, é perceptível em alguns artigos que a variação padrão dos resultados das argamassas modificadas ao longo da sua idade é geralmente maior do que para as de referência. Roque *et al.* (2020) acreditam que isso é possível devido à maior heterogeneidade dos agregados reciclados utilizados, principalmente dos mistos, que apresentam em sua composição diferentes materiais, podendo resultar nessas variações nas propriedades. Mas, apesar desse fato, ainda assim as argamassas incorporadas tendem a apresentar resultados mecânicos similares ou maiores do que as de agregado natural, como foi visto, por exemplo, no trabalho de Lucas *et al.* (2016).

Os estudos indicam que tanto o tipo de material incorporado quanto a porcentagem de troca do agregado natural são cruciais. Pimentel *et al.* (2018), por exemplo, relatam a viabilidade de emprego de RCD em pequenas quantidades (os autores sugerem a incorporação de até 30%), e ressaltam que, em sua experiência, quanto maior foi o teor de substituição, menor a resistência mecânica obtida, chegando a uma redução de 42% das resistências quando chegaram a usar a amostra com 60% de incorporação.

Isto é corroborado pelos dados do Tabela 03, onde, com exceção de autores que substituem o agregado em 100%, a maioria das pesquisas sugere que o valor ótimo de substituição está entre 20% e 30%. Heidari *et al.* (2018) afirmam que a adoção de 20% pode melhorar as características mecânicas, enquanto valores superiores a 50% tendem a reduzir bastante a resistência, sem oferecer outros benefícios para as propriedades das argamassas.

Além disso, quando se trata de outras propriedades, como a absorção de água, os autores Heidari *et al.* (2018) afirmam que a areia natural possui menor capacidade de absorção de água que o agregado reciclado e obtiveram dados que mostram que a substituição de 20% de água, praticamente não afetou essa característica da argamassa, enquanto a incorporação de 50%, levou a um aumento de 3%.

Essa informação é relevante, pois a absorção de água influencia a argamassa de várias maneiras. A absorção excessiva de água pode interferir na cura e resistência da argamassa, contribuindo para a fissuração, e, impactar a durabilidade, pois a umidade pode promover reações químicas indesejadas.

Também, a quantidade de água absorvida pode afetar a trabalhabilidade e aderência da argamassa, isto é uma alta absorção, pode dificultar a aplicação, além do risco de se reduzir a adesão da argamassa, comprometendo a ligação entre a argamassa de revestimento e a superfície.

Ainda quanto ao ensaio de absorção de água, Jesus *et al.* (2019) destacam a importância de controlar e avaliar o uso dos diferentes tipos de RCD como agregados, observando que a incorporação de agregado mais fino acaba proporcionando às argamassas um melhor desempenho. As argamassas modificadas mostraram aumento nas resistências em comparação às de referência do seu estudo sobre resíduos mistos e resíduos de concreto em argamassas de revestimento.

Os autores Jesus *et al.* (2019) sugerem que isso pode ser atribuído a fatores, como um efeito de preenchimento, onde o agregado fino preenche os vazios entre os agregados de areia, ou à presença de cimento não hidratado que completa a hidratação durante a preparação das novas argamassas, o que aumenta a compactação das argamassas - efeito importante sobre o tipo de RCD.

Com esse aspecto, pode-se estimular a desconstrução e não demolição, a fim de poder produzir agregado de concreto que terá melhor efeito quando usado como agregado reciclado em argamassas.

Por fim, Ferreira *et al.* (2019) afirmam que as propriedades das argamassas com resíduos reciclados também tendem a aumentar consideravelmente ao longo do tempo.

Na Tabela 04, são apresentados os dados relativos a estudos realizados sobre a capacidade da retenção de água das melhores amostras e seu desempenho em relação à referência.

Tabela 04 - Resultados da capacidade de retenção de água em argamassas com RCD.

Autores	Capacidade de retenção de água	% de substituição de agregado
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	95% (+1,83%)	25%
Lucas <i>et al.</i> (2016)	75,4% (+4%)	50%
Neno, Brito e Veiga (2014)	89,26% (+39,88%)	20%
Pavón <i>et al.</i> (2014)	92% (-0,54%)	100%
Penacho, Brito e Veiga (2014)	(+20% que a amostra de referência)	-
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	96,99 (+1,27%)	60%
Ruviaró <i>et al.</i> (2022)	96% (+3%)	30%

Fonte: Autor (2024)

A respeito de algumas considerações sobre este ensaio, Ferreira *et al.* (2019), em seu trabalho que também considerava o papel do teor de pó nas argamassas de agregados reciclados, indicaram que, de acordo com seus resultados, a capacidade de retenção de água das argamassas caiu com a remoção do teor de pó dos agregados de RCD. Também, deixaram claro que, apesar disso, a incorporação de agregados reciclados resultou numa maior retenção de água, como pode ser visto na tabela. Os autores afirmam que isso pode ser explicado pela maior rugosidade do agregado empregado, permitindo que uma maior quantidade de água seja retida na superfície dos poros devido à criação de forças coesivas entre as moléculas de água.

Lucas *et al.* (2016) destacam que o formato das partículas nos resíduos contribui para a retenção de água e ar. Neno, Brito e Veiga (2014) enfatizam que uma maior retenção de água é vantajosa, pois aumenta a chance de hidratação do cimento com a mistura, beneficiando as propriedades mecânicas e de aderência. Em geral, os autores concordam que as partículas finas dos agregados reciclados melhoram a retenção de água nas argamassas, resultando em desempenhos semelhantes ou superiores aos das feitas apenas com agregados naturais.

Na Tabela 05, estão compilados os dados de artigos que estudaram teor de ar incorporado.

Tabela 05 - Resultados do teor de ar incorporado em argamassas com RCD

Autores	Teor de ar incorporado	% de substituição de agregado
Ferreira <i>et al.</i> (2019)	5,9% (+25%)	25%
Jesus <i>et al.</i> (2019)	8,8% (+25%)	20%
Jesus <i>et al.</i> (2021)	14,75% (+93,31%)	15%
Lucas <i>et al.</i> (2016)	8,4% (+29,23%)	50%
Penacho, Brito e Veiga (2014)	12,6% (+53,65%)	100%
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	6,78% (+17,91%)	30%

Fonte: Autor (2024)

Pimentel *et al.* (2018) observam que o teor de ar influencia a massa específica e a consistência, onde um maior valor resulta em menor massa específica e maior plasticidade. Os autores também identificaram uma relação entre o teor de ar e o de finos. Penacho, Brito e Veiga (2014) corroboram essa informação e indicam que o teor de ar incorporado aumenta linearmente com a substituição da areia por agregados reciclados, levando à diminuição da densidade das argamassas.

Lucas *et al.* (2016) e Jesus *et al.* (2021) observaram que a incorporação de RCD causa um aumento considerável no teor de ar das argamassas. Jesus *et al.* (2021) adicionam que esse aumento pode estar relacionado com o formato das partículas desses agregados, já que o formato mais anguloso facilita o aprisionamento de ar. Além disso, apoiam a ideia de

Pimentel *et al.* (2018) sobre a plasticidade, afirmando que um aumento no teor de ar das pode contribuir para uma melhora no acabamento e uma melhor trabalhabilidade no estado fresco.

No mais, Jesus *et al.* (2019) apenas chama atenção para o fato de que, por outro lado, valores excessivamente altos de teor de ar incorporado, podem levar a diminuição das resistências mecânicas e da aderência da argamassa ao substrato.

4 CONCLUSÃO

A revisão dos estudos permitiu a obtenção de resultados e conclusões a respeito da incorporação de RCD, o que é um fator crucial para orientar pesquisas futuras sobre o tema. Embora os artigos apresentassem abordagens diferentes, todos objetivavam a meta principal de desenvolvimento de uma engenharia sustentável.

Com a realização de diferentes ensaios para avaliar o desempenho das argamassas, foi possível concluir que a adição de RCD, como agregado, demanda cuidados no que diz respeito ao volume e material utilizado, pois são fatores que influenciam no comportamento das argamassas de revestimento.

Com os estudos de Antunes *et al.* (2019); Cabrera *et al.* (2016); Dang *et al.* (2018); Heidari *et al.* (2018); Islam, Majumder e Mutsuddy (2024); Jesus *et al.* (2019); Jesus *et al.* (2021); Lucas *et al.* (2016); Sathiparan (2024); Pimentel *et al.* (2018); Raeis *et al.* (2015); Raini *et al.* (2020); Roque *et al.* (2020); Ruviano *et al.* (2022) e Volean *et al.* (2024), observa-se que os melhores resultados, especialmente mecânicos, são obtidos para taxas de incorporação entre 15% e 30%, considerando uma idade recomendada de, no mínimo, 28 dias.

Por outro lado, de acordo com Carasek *et al.* (2018); Ferreira *et al.* (2019); Neno, Brito e Veiga (2014); Pavón *et al.* (2014) e Penacho, Brito e Veiga (2014), sob certas condições, substituir porcentagem altas, de 50% a 100%, e ainda obter resultados similares aos das argamassas de areia natural é possível, principalmente quando há controle rigoroso com a granulometria do RCD. Apesar disso, com a incorporação de alta porcentagem, Ferreira *et al.* (2019) e Penacho, Brito e Veiga (2014) notaram que houve maior propensão a microfissuras.

É notório que a adoção de agregados reciclados é possível, e, há benefícios econômicos e ambientais envolvidos, porém, é necessária uma análise cuidadosa do volume, bem como do material utilizado, para equilibrar desempenho e durabilidade.

É recomendado o uso de até 30% para a incorporação, especialmente em aplicações reais, e, considerando que proporções muito grandes mostraram maior suscetibilidade de rachaduras.

Também, vale dizer que esta prática ainda enfrenta questões que precisam ser superadas para que se torne uma realidade da engenharia. Uma das principais dificuldades está na diversidade da composição dos RCD, que costumam ser uma mistura de diferentes componentes, o que dificulta a previsibilidade das propriedades das argamassas. Portanto, incentiva-se a classificação e tratamento correto dos resíduos, para um controle mais eficaz sobre as características das argamassas com RCD, resultando em produtos finais com propriedades e durabilidade até mesmo superiores.

No geral, as argamassas contendo RCD são consideradas uma solução viável para minimização do consumo de recursos naturais na produção de materiais de construção, porém, mais pesquisas são recomendadas para aumentar a confiança em seu uso na construção. É imperioso que mais estudos sejam desenvolvidos para investigar melhor a resiliência a longos prazos e para explorar ainda mais as porcentagens ótimas de substituição e possíveis aditivos para a mistura.

Além disso, sugere-se que mais pesquisas futuras trabalhem aspectos relacionados à resistência a substâncias ácidas e alcalinas, bem como mais pesquisas focando em mitigar problemas de encolhimento e microfissuração. Também, destaca-se a importância da realização de mais análises não muito convencionais para avaliar o desempenho das argamassas incorporadas, como é o caso dos testes de granulometria a laser e microscopia, para uma compreensão abrangente do comportamento dos agregados reciclados em argamassas de revestimento.

REFERÊNCIAS

ABRECON; ANGULO, S. C.; OLIVEIRA, L. S.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. ESCOLA POLITÉCNICA; MACHADO, L. C.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. ESCOLA POLITÉCNICA (org.). **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. [S. l.]: Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, 2022. 2022. Acesso em: 18 de out. 2024.

ANTUNES, M. L. P.; SÁ, A. B.; OLIVEIRA, P. S.; RANGEL, E. C. Utilization of gypsum from construction and demolition waste in Portland cement mortar. *Ceramica*, [s. l.], v. 65, n. suppl 1, p. 1–6, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-6913201965s12588>. Acesso em: 18 de out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

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

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Ceramica*, [s. l.], v. 61, n. 358, p. 178–189, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>. Acesso em: 18 de out. 2024.

CABRERA-COVARRUBIAS, F.; GÓMEZ-SOBERÓN, J.; ALMARAL-SÁNCHEZ, J.; ARREDONDO-REA, S.; GÓMEZ-SOBERÓN, M.; CORRAL-HIGUERA, R. An experimental study of mortars with recycled ceramic aggregates: Deduction and prediction of the stress-strain. *Materials*, [s. l.], v. 9, n. 12, p. 1029, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ma9121029>. Acesso em: 18 de out. 2024.

CARASEK, H.; GIRARDI, A. C. C.; ARAÚJO, R. C.; ANGELIM, R.; CASCUDO, O. Study and evaluation of construction and demolition waste recycled aggregates for masonry and rendering mortars. *Ceramica*, [s. l.], v. 64, n. 370, p. 288–300, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643702244>. Acesso em: 18 de out. 2024.

DANG, J.; ZHAO, J.; HU, W.; DU, Z.; GAO, D. Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. *Construction and building materials*, [s. l.], v. 166, p. 898–907, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.109>. Acesso em: 18 de out. 2024.

FERREIRA, R. L. S.; ANJOS, M. A. S.; NÓBREGA, A. K. C.; PEREIRA, J. E. S.; LEDESMA, E. F. The role of powder content of the recycled aggregates of CDW in the behaviour of rendering mortars. *Construction and building materials*, [s. l.], v. 208, p. 601–612, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.058>. Acesso em: 18 de out. 2024.

HEIDARI, A.; HASHEMPOUR, M.; JAVDANIAN, H.; KARIMIAN, M. Investigation of mechanical properties of mortar with mixed recycled aggregates. **Asian journal of civil engineering**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 583–593, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s42107-018-0044-1>. Acesso em: 18 de out. 2024.

ISLAM, S. R.; MAJUMDER, S. N.; MUTSUDDY, R.; DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, BANGLADESH UNIVERSITY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY (BUET), DHAKA-1000, BANGLADESH. Life cycle assessment and mechanical strength of cement composites with conventional, and recycled fine aggregate. **Sustainable Structures**, [s. l.], v. 4, n. 2, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.54113/j.sust.2024.000052>. Acesso em: 18 de out. 2024.

JESUS, S.; MAIA, C.; BRAZÃO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. **Construction and building materials**, [s. l.], v. 229, n. 116844, p. 116844, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116844>. Acesso em: 18 de out. 2024.

JESUS, S.; MAIA, C.; BRAZÃO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Reduction of the cement content by incorporation of fine recycled aggregates from construction and demolition waste in rendering mortars. **Infrastructures**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 11, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures6010011>. Acesso em: 18 de out. 2024.

LUCAS, J.; BRITO, J.; VEIGA, R.; FARINHA, C. The effect of using sanitary ware as aggregates on rendering mortars' performance. **Materials & design**, [s. l.], v. 91, p. 155–164, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.11.086>. Acesso em: 18 de out. 2024.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International journal of surgery** (London, England), [s. l.], v. 8, n. 5, p. 336–341, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijso.2010.02.007>. Acesso em: 18 de out. 2024.

NENO, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. **Materials research**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 168–177, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-14392013005000164>. Acesso em: 18 de out. 2024.

PAVÓN, E.; ETXEBERRIA, M.; MARTÍNEZ, I. The production of construction and demolition waste material and the use of recycled aggregates in Havana, Cuba. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, [s. l.], n. 71, p. 167–178, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.15516>. Acesso em: 18 de out. 2024.

PENACHO, P.; BRITO, J.; VEIGA, R. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. **Cement & concrete composites**, [s. l.], v. 50, p. 47–59, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.02.007>. Acesso em: 18 de out. 2024.

PIMENTEL, L. L.; PISSOLATO, O.; JACINTHO, A. E. P. G. de A.; MARTINS, H. L. de S. Mortar with sand from crushing of construction waste - Assessment of physical and mechanical characteristics. **Matéria**, [s. l.], v. 23, n. 1, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0305>. Acesso em: 18 de out. 2024.

PLUYE, P.; HONG, Q. N. Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews. **Annual review of public health**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 29–45, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182440>. Acesso em: 18 de out. 2024

RAEIS SAMIEI, R.; DANIOTTI, B.; PELOSATO, R.; DOTELLI, G. Properties of cement–lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates. **Construction and building materials**, [s. l.], v. 84, p. 84–94, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.042>. Acesso em: 18 de out. 2024.

RAINI, I.; JABRANE, R.; MESRAR, L.; AKDIM, M. Evaluation of mortar properties by combining concrete and brick wastes as fine aggregate. **Case studies in construction materials**, [s. l.], v. 13, n. e00434, p. e00434, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00434>. Acesso em: 18 de out. 2024.

ROQUE, S.; MAIA PEDERNEIRAS, C.; BRAZÃO FARINHA, C.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Concrete-based and mixed waste aggregates in rendering mortars. **Materials**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 1976, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ma13081976>. Acesso em: 18 de out. 2024.

RUVIARO, A. S.; SILVESTRO, L.; PELISSER, F.; AZEVEDO, A. R. G. de; DE MATOS, P. R.; GASTALDINI, A. L. G. Long-term effect of recycled aggregate on microstructure, mechanical properties, and CO₂ sequestration of rendering mortars. **Construction and building materials**, [s. l.], v. 321, n. 126357, p. 126357, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126357>. Acesso em: 18 de out. 2024.

SATHIPARAN, N. Performance of sustainable cement mortar containing different types of masonry construction and demolition wastes. **Clean technologies and environmental policy**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 1861–1881, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-023-02681-2>. Acesso em: 18 de out. 2024.

VĂLEAN, M.; MANEA, D. L.; ACIU, C.; POPA, F.; PLEȘA, L. M.; JUMATE, E.; FURTOS, G. Performance assessments of plastering mortars with partial replacement of aggregates with glass waste. **Buildings**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 507, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/buildings14020507>. Acesso em: 18 de out. 2024.

WEDLER, B.; HUMMEL, A. **Trümmerverwertung und Ausbau von Brandruinen**. Wilhelm Ernest & Sohm, 1946.

CLENILDO DUDA DE LIRA E SILVA

**ESTUDO SOBRE A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO COMO AGREGADOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Defesa realizada por videoconferência.

Área de concentração: Materiais de construção civil.

Aprovado em 24 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Érika Pinto Marinho (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^ª. Dra. Dannúbia Ribeiro Pires (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Marllon Victor Soares Cabral (Mestre em Eng. Civil e Ambiental) (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco