



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

ANDRÉ INÁCIO DA SILVA FILHO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
CONCRETO: revisão de literatura**

Caruaru

2023

ANDRÉ INÁCIO DA SILVA FILHO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
CONCRETO: revisão de literatura**

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: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

Caruaru

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos, conquistas e livramentos que o Senhor me concede diariamente; por não me deixar desistir, dando-me forças para seguir em frente apesar das minhas limitações; e por todas as pessoas especiais que colocou em meu caminho para me auxiliarem nesta vida. Obrigado, Pai, pelo infinito amor e misericórdia que tens por mim.

Aos meus pais: à minha mãe, Rejane (in memoriam), por tudo que sou e que poderei vir a ser algum dia... Você está sempre no meu coração e nos meus pensamentos; e ao meu pai, André, por todas as coisas que me proporcionou e que facilitaram a jornada até aqui.

Ao meu avô, professor e amigo, Honório (in memoriam), por ter sido um segundo pai para mim, por transmitir-me o seu amor pela Matemática, pela educação e pelo saber, e por ensinar-me o que conhecia sobre a vida, o mundo, as pessoas e tantas outras coisas.

À minha avó, Veralucia, e à minha tia, Andrezza, minhas duas mães do dia a dia, por tudo que já fizeram e fazem pelo meu bem-estar; espero poder retribuir adequadamente todo o seu esforço. E aos demais familiares, especialmente às minhas tias, Andrea e Adriana, e à minha irmã, Larissa, pelo apoio e incentivo que recebi de vocês.

À minha orientadora, mestra e amiga querida, Maria Victória Leal, pelo seu exemplo enquanto professora, cristã e pessoa; por suas contribuições, dedicação e paciência como orientadora; pela amizade, benevolência e carinho que sempre demonstrou para comigo; e por toda a ajuda, conselhos, exemplos, forças, incentivos e lições que recebi da senhora, não só os de natureza acadêmica, mas especialmente aqueles para a vida. Tenho certeza de que o mundo seria um lugar melhor se houvesse mais pessoas como você nas universidades.

Às professoras Dannúbia Pires e Érika Marinho, por aceitarem participar da banca de avaliação deste trabalho e contribuírem com sugestões para o seu aperfeiçoamento.

À professora e amiga querida, Débora Assis, por todas as nossas conversas e situações de aprendizado e diversão; por seus conselhos e atitudes de apoio e incentivo em momentos de dificuldade; e por buscar sempre ensinar aos seus alunos a encararem os desafios de frente e a tornarem-se não apenas bons profissionais, mas principalmente boas pessoas.

Ao professor e amigo, Douglas de Lima, por seus exemplos de apreço, excelência e dedicação ao ensino; por sua prontidão sempre que necessitei de si; por todos os momentos de aprendizado, crescimento e descontração que obtive como frutos da convivência consigo; e por toda a sua colaboração e solicitude, essenciais durante a reta final desta jornada.

À professora e amiga, Jocilene Costa, por seu apoio, auxílio e conselhos em vários momentos desta fase; pela excelência com que desempenha a função de coordenadora,

buscando sempre a melhora e o desenvolvimento do nosso curso; e, especialmente, por sua cooperação fundamental e indispensável durante esta última etapa da graduação.

Ao professor e amigo, Pedro Pereira, por nossas conversas cheias de reflexões proveitosas, pelos momentos descontraídos que compartilhamos e, especialmente, pelas oportunidades que me concedeu de exercer as atividades de monitoria, as quais contribuíram de forma inestimável para o meu desenvolvimento enquanto aluno e aspirante à docência.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil, por terem contribuído, com seus conhecimentos e vivências, para a minha formação acadêmica e humana. Agradeço especialmente aos professores Dannúbia Pires, Edevaldo Alves, Érika Marinho, Flávio Diniz, Giuliana Bono, Humberto Correia, José Moura, Juliana Torres, Michele Lima, Saul Barbosa, Saulo de Tarso, Thiago Campos e Washington de Lima.

A todos os amigos que adquiri durante a graduação, por todo o apoio, companheirismo, diversão e experiências que partilhamos juntos, indispensáveis para suportar os percalços ao longo do curso; em especial, a Anny Karoliny, Emmanuel Henrique, Gleyce Nair, Isabela Freitas, Jafé de Macêdo, Jean Firmino, Jhonatta Deivid, João Mendes, Karen Danyele, Luccas André, Paulo Mergulhão, Phelipe Moraes e Welton Brenno.

Aos meus amigos, Allan Gustavo, João Pedro, João Victor, Lucas Iago, Maria Luiza, Paulo Henrique, Vitor Sousa e Will de Azevedo, por todas as situações e memórias inesquecíveis que coleciono convosco depois de tantos anos de amizade, convívio e cumplicidade.

Aos meus professores da fase escolar, por todo o conhecimento repassado e, principalmente, pelos inúmeros exemplos e lições de vida que certamente contribuíram para a construção do caráter e das ideias que compõem a pessoa que sou hoje.

Aos meus supervisores de estágios, Carlos Vinícius Arraes, Everaldo Barbosa e Tiago Harim, por terem compartilhado comigo alguns de seus conhecimentos e vivências enquanto engenheiros, e por todos os aprendizados e experiências que obtive com cada um de vocês.

À Pórtis Jr., empresa júnior de engenharia civil do campus, pelo aprendizado obtido durante o tempo em que fui parte desta instituição, cujo objetivo de levar aos estudantes a vivência empresarial é louvável e importantíssimo para a preparação dos futuros engenheiros.

Por fim, à Universidade Federal de Pernambuco, por ter sido a minha segunda casa em todos esses anos, pela oportunidade de ter encontrado pessoas incríveis e por ter tido acesso ao conhecimento científico e humano da engenharia através do ensino, pesquisa e extensão de altíssima qualidade característicos das universidades públicas brasileiras.

Incorporação de resíduos da construção civil na produção de concreto: revisão de literatura

Construction waste incorporation into concrete production: literature review

André Inácio da Silva Filho¹

RESUMO

A construção civil é um dos setores da indústria global que mais causam impactos ambientais, especialmente devido à quantidade de recursos naturais extraídos constantemente, à alta emissão de gases poluentes na atmosfera e à elevada geração e descarte incorreto de resíduos sólidos. Nesse aspecto, o reaproveitamento dos resíduos gerados pela construção civil dentro da própria indústria construtiva é uma forma de mitigar os danos causados ao meio ambiente. Neste trabalho, o principal objetivo foi averiguar o estado da arte dos estudos que visam a produção de concretos sustentáveis a partir da incorporação de resíduos da construção civil. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura de vinte artigos de pesquisa publicados em inglês, em revistas Qualis A, entre 2014 e 2023, que trataram da substituição de agregados naturais por agregados reciclados. Os estudos revisados foram descritos em termos de suas características metodológicas. Foi observado que os ensaios mais comuns para avaliar o comportamento dos concretos produzidos foram os ensaios de resistência à compressão, tração e flexão, módulo de elasticidade, absorção de água e penetração de cloretos. Os resultados indicam que a performance mecânica é comprometida pela incorporação de agregados reciclados, sendo interessante apenas para porcentagens de substituição baixas, de até 30%. A absorção de água e a penetração de cloretos, por outro lado, crescem de acordo com o aumento da taxa de incorporação, prejudicando a durabilidade do concreto. A partir das conclusões extraídas, foram identificadas as seguintes tendências para estudos futuros: incorporação mista de agregados reciclados e materiais cimentícios suplementares; tratamento e beneficiamento dos resíduos utilizados; e acréscimo de aditivos químicos no concreto.

Palavras-chave: reaproveitamento; sustentabilidade; agregados reciclados; materiais alternativos; qualidade do concreto.

ABSTRACT

Civil construction is one of the sectors of the global industry that causes the most environmental impacts, especially due to the amount of natural resources constantly extracted, the high emission of polluting gases into the atmosphere and the high generation and incorrect disposal of solid waste. In this aspect, the reuse of waste generated by construction within the construction industry itself is a way of mitigating the damage caused to the environment. In this work, the main objective was to investigate the state of the art of studies aimed at producing sustainable concrete from the incorporation of construction waste. To this end, a literature review was carried out of twenty research articles published in English, in Qualis A magazines, between 2014 and 2023, which dealt with the replacement of natural aggregates with recycled aggregates. The studies reviewed were described in terms of their methodological characteristics. It was observed that the most common tests to evaluate the behavior of the concrete produced were the tests of compressive, tensile and flexural strength, modulus of elasticity, water absorption and chloride penetration. The results indicate that mechanical performance is compromised by the incorporation of recycled aggregates, being interesting only for low replacement percentages, up to 30%. Water absorption and chloride penetration, on the other hand, increase as the incorporation rate increases, damaging the durability of the concrete. From the conclusions drawn, the following trends for future studies were identified: mixed incorporation of recycled aggregates and supplementary cementitious materials; treatment and processing of waste used; and addition of chemical additives to concrete.

Keywords: reuse; sustainability; recycled aggregates; alternative materials; concrete quality.

DATA DE APROVAÇÃO: 19 de dezembro de 2023.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das maiores forças motrizes para o crescimento econômico mundial, tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento. No entanto, apesar de sua importância para a sociedade, suas atividades causam impactos bastante

negativos ao meio ambiente. Segundo Wu *et al.* (2019), essa indústria é uma das maiores geradoras de resíduos sólidos urbanos, produzindo, anualmente, mais de 10 bilhões de toneladas de resíduos, dos quais a maior parte é potencialmente reaproveitável.

Na literatura, conforme apontado por Costa, Athayde Júnior e Oliveira (2014), existem dois termos atualmente em uso para fazer referência aos resíduos sólidos oriundos da construção civil, a saber, Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Será adotado o termo RCC, de acordo com a nomenclatura utilizada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente na Resolução - CONAMA nº 307 (Brasil, 2002).

Devido ao alto volume de resíduos produzidos pelo setor construtivo e aos impactos ambientais atrelados, o gerenciamento dos RCC tornou-se uma problemática fundamental para as economias globais (Chen *et al.*, 2021). Novas alternativas de reciclagem e reaproveitamento dos RCC na indústria vêm sendo cada vez mais pesquisadas, sendo exemplos disso, alguns estudos relacionados à reutilização de madeiras (Azambuja *et al.*, 2018), pó de tijolo (Chen *et al.*, 2023), telhas cerâmicas (Matos *et al.*, 2021) e agregados (Borges *et al.*, 2023) na produção de novos materiais de construção.

Uma classe de materiais importantes para o setor da construção civil são os materiais cimentícios. São exemplos desses materiais: pastas, argamassas, concretos, blocos de concreto para alvenaria estrutural, tijolos de solo-cimento e blocos intertravados de concreto para pavimentação (Nascimento, 2016). Estudos relacionados a essa classe incluem a incorporação de areia reciclada em misturas de solo-cimento autoadensável (Simioni *et al.*, 2020), a substituição de agregados miúdos naturais por reciclados em argamassas estabilizadas de revestimento (Santana; Pereira, 2020) e a avaliação da hidratação de pastas cimentícias preparadas com pó de concreto reciclado (Deng *et al.*, 2023).

Dentre os materiais cimentícios, o concreto é particularmente importante para o cenário construtivo brasileiro. De acordo com Thives, Ghisi e Thives Júnior (2022), o concreto é um dos principais RCC coletados no Brasil, o que facilita o desenvolvimento de formas de reinserir o material na cadeia produtiva da construção civil. Exemplos de estudos desenvolvidos sobre o tema incluem a análise das propriedades físicas e composições de agregados reciclados adequados para a produção de concreto (Silva; Brito; Dühr, 2014), a avaliação dos processos de mistura de concretos preparados com agregados de RCC (Cordeiro *et al.*, 2017) e a realização de dosagens específicas para concretos preparados com agregados graúdos reciclados de concretos (Santos; Leite, 2018).

No Brasil, o sistema construtivo mais tradicional é a alvenaria convencional com estrutura de concreto armado. Considerando que esse método é, em sua execução, de natureza

predominantemente manual, o que colabora para a ocorrência frequente de erros durante as construções, há, conseqüentemente, maiores prejuízos financeiros, geração de RCC e degradação do meio ambiente (Gomes Júnior; Bello, 2022).

Diante disso, observa-se que produzir novas alternativas de materiais sustentáveis e, simultaneamente, contribuir para a redução dos impactos ambientais causados pelo setor da construção civil é fundamental na busca por formas mais viáveis de atender a alta demanda que o país possui por habitações e obras de infraestrutura em geral. Neste estudo, será realizada uma revisão de literatura de trabalhos recentes relativos à incorporação de RCC na produção de concreto, a fim de ilustrar qual é o aspecto geral do estado da arte desse assunto dentro da discussão científica moderna.

1.1 Resíduos da Construção Civil

Na Resolução CONAMA nº 307, são estabelecidos critérios, diretrizes e procedimentos a fim de que seja possível realizar uma gestão adequada dos resíduos oriundos da construção civil. Os RCC são definidos como resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de engenharia das mais diversas naturezas (Brasil, 2002).

Alguns exemplos de RCC incluem tijolos, blocos cerâmicos, concretos, madeiras, argamassas, tintas, metais, resinas, colas, solos em geral, gessos, vidros e plásticos. A Resolução CONAMA nº 307 (e suas atualizações) separa os resíduos em quatro classes distintas, de acordo com a natureza destes (Brasil, 2002, 2004, 2011, 2015):

- a) Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como de construção, demolição, reformas e reparos de edificações e obras de infraestruturas, além de solos provenientes de escavações;
- b) Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações (plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso);
- c) Classe C: são os resíduos para os quais não estão disponíveis tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; e
- d) Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos.

Os RCC de particular interesse para estudos de incorporação em materiais de construção são aqueles pertencentes à Classe A. É previsto pela Resolução CONAMA nº 448 que a

destinação correta destes resíduos é a reutilização ou reciclagem, na forma de agregados, ou a reservação para uso futuro em aterros apropriados para resíduos de Classe A (Brasil, 2012).

Após ser estabelecido que grandes geradores devem desenvolver e implantar planos de gerenciamento de RCC para destiná-los de forma adequada (Brasil, 2012), a reciclagem dos RCC cresceu bastante, com a criação, nos últimos anos, de usinas de reciclagem espalhadas em diversas regiões do Brasil (Paulino *et al.*, 2023). Pode-se constatar que a reutilização de resíduos industriais como componentes de novos materiais promove reduções nos custos operacionais envolvidos, nos impactos ambientais causados e no volume que não pode ser reaproveitado e precisa ser descartado apropriadamente (Nascimento, 2016).

Portanto, verifica-se que desenvolver formas de reaproveitar os RCC de Classe A é tecnicamente viável. Wu *et al.* (2019) apontaram que resíduos como tijolos triturados e areias podem ser reutilizados em diferentes contextos, como no aumento do volume da camada base em pavimentos e, especialmente, no concreto. Lopes *et al.* (2023) afirmam que estudos vêm sendo desenvolvidos para reduzir, no cimento Portland, a proporção de clínquer, substituindo-o por Materiais Cimentícios Suplementares (MCS). Li *et al.* (2023) propõem a reciclagem de tijolos refratários, enquanto Juan-Valdés *et al.* (2021) estudaram a presença de agregados graúdos reciclados e materiais cerâmicos na composição de concretos sustentáveis.

1.2 Incorporação de Resíduos da Construção Civil em Concreto

A utilização de RCC como agregados requer a realização de estudos para analisar a influência que esses materiais possuem no comportamento mecânico de concretos nos estados fresco e endurecido (Ângulo, 2005). Considerando que o histórico dos RCC geralmente não é sabido, Silva, Brito e Dühr (2014) listaram algumas características que devem ser conhecidas a respeito dos agregados reciclados: composição química, tamanho e forma, densidade, absorção de água e propriedades mecânicas.

Uma forma de avaliar os efeitos da incorporação de agregados graúdos reciclados no concreto é a relatada por Cordeiro *et al.* (2017), que consiste em estudar a influência dos métodos adotados para a ordem de mistura dos componentes, durante a preparação do concreto. Outro tipo de abordagem é analisar a substituição de algum material natural por um RCC, como no trabalho de Soni e Shukla (2021), em que foi estudada a substituição de agregados miúdos por agregados graúdos reciclados triturados como forma de atenuar os impactos ambientais causados pela extração de areia das margens de rios.

Robalo *et al.* (2021) desenvolveram concretos ecoeficientes, tendo em vista os impactos da

geração de RCC, extração de recursos naturais e emissão de CO₂ na produção do cimento Portland. Para isso, os autores fizeram concretos com diferentes proporções de cimento e incorporação de agregados reciclados. Estudos relacionados à redução do teor de cimento Portland são particularmente interessantes, visto que este, além de ser o principal componente do concreto, é o maior responsável pela pegada de carbono do material (Zhu *et al.*, 2021).

Além da incorporação de agregados miúdos e graúdos reciclados, há estudos que focam em substituir total ou parcialmente esses materiais por outros tipos de resíduos além dos RCC. No trabalho desenvolvido por Yin *et al.* (2023), foram analisadas as propriedades mecânicas e reológicas de um concreto de alta performance elaborado com a incorporação de resíduos de vidro como material cimentício e agregado miúdo. Em outro estudo, foi desenvolvido um concreto sustentável a partir da substituição de variadas porcentagens de agregados por resíduos de vidro, tijolos de argila triturados e vidro triturado (Helmy *et al.*, 2023).

Seguindo a perspectiva desses e de outros estudos, observa-se que a incorporação de RCC no concreto é um campo bastante promissor, visto a importância que esse material representa para a indústria da construção civil e a complexidade de fatores que interferem nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Apesar da reutilização dos RCC ser vista como uma boa estratégia para mitigar os impactos da construção civil, aplicá-la sem prever e analisar seus efeitos pode reduzir a performance do concreto a longo prazo (Zhu *et al.*, 2021).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar o estado da arte das pesquisas referentes à incorporação dos RCC de Classe A na produção de concreto e analisar os resultados obtidos nesses estudos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Apresentar informações sobre os escopos, procedimentos metodológicos e resultados dos estudos revisados;
- Descrever os principais resultados obtidos em decorrência da incorporação de RCC;
- Avaliar os resultados dos estudos revisados, destacando as principais alterações causadas pela incorporação de RCC no concreto.

2 METODOLOGIA

O presente estudo é classificado como uma revisão de literatura, visto que se trata de uma avaliação do estado da arte do tema investigado, isto é, o reaproveitamento de RCC por meio de incorporação na produção de concreto, através do levantamento, observação e análise de pesquisas desenvolvidas recentemente na área. Além disso, a revisão desenvolvida também possui características pertencentes às pesquisas qualitativas.

Sobre a abordagem de pesquisa qualitativa, Severino (2013) ressalta que tal abordagem é mais entrelaçada aos fundamentos epistemológicos do estudo do que às suas especificidades metodológicas. Esse detalhe é particularmente interessante às revisões de literatura, onde o objeto de estudo é formado pelos resultados produzidos por outros pesquisadores e o objetivo principal é identificar lacunas, semelhanças e divergências entre os resultados apresentados.

A partir das considerações feitas, depreende-se que o estudo realizado pode ser entendido como uma revisão literária com aspectos de análise qualitativa, devido aos critérios utilizados para escolher, avaliar e extrair conclusões dos trabalhos submetidos à revisão. Na Figura 1 é ilustrado um fluxograma das etapas desenvolvidas para esta pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor (2023)

Conforme mostrado na Figura 1, a metodologia de pesquisa definida segue uma sequência de etapas. A definição do escopo trata-se da escolha do tema de concentração sobre o qual será feita a revisão, sendo, para o caso deste estudo, a incorporação de RCC em concreto. Em

seguida, é feita a seleção das fontes de busca e, posteriormente, o levantamento dos artigos a serem analisados.

A análise da bibliografia consiste em uma avaliação preliminar e superficial dos artigos encontrados, para averiguar a pertinência destes em relação ao escopo do projeto. A escolha dos critérios de decisão, em contrapartida, trata da escolha dos parâmetros, após observar as características dos estudos levantados, a serem utilizados para definir se estes trabalhos devem ou não integrar o conjunto adotado como base para a revisão.

Após selecionar, por meio dos critérios definidos adiante, um quantitativo de estudos significativo, estes foram apresentados. Os resultados obtidos foram descritos e, posteriormente, foram elaboradas comparações entre os estudos. Tentou-se, a partir das comparações estabelecidas, identificar a ocorrência de tendências no comportamento do concreto segundo as características das incorporações realizadas.

O escopo desta revisão consistiu em avaliar estudos que trataram da incorporação de RCC de Classe A em concretos. Para encontrar trabalhos pertinentes, foram pesquisados artigos publicados em inglês, referentes às áreas de Materiais de construção civil e Ciência e engenharia de materiais, por meio da base de dados eletrônicos *Science Direct*. Os artigos levantados foram obtidos com o uso das palavras-chave: “*Construction and demolition waste incorporation in concrete*”. No Quadro 1 são apresentadas informações a respeito dos critérios utilizados para a escolha dos estudos revisados.

Quadro 1 – Informações gerais da pesquisa

Natureza	Descrição
Área de concentração	Materiais de construção civil e Ciência e engenharia dos materiais
Tipo de trabalho	Artigos de pesquisa publicados em revistas Qualis A1
Total de artigos escolhidos	20
Intervalo temporal	2014-2023
Idioma	Inglês
Tipo de incorporação	Substituição
Fatores de decisão	Existência de informações sobre os objetivos e particularidades do estudo; da origem e natureza dos RCC utilizados; dos materiais não reciclados (cimento, agregados naturais e outros) usados; das porcentagens de incorporação; dos ensaios realizados para caracterização dos resíduos e avaliação do concreto; e dos resultados obtidos.

Fonte: Autor (2023)

Para atender aos objetivos propostos, foram analisados, preliminarmente, 1.256 artigos, dos quais se escolheu 40 para analisar com maior profundidade. Após observar características

e peculiaridades apresentadas por alguns desses estudos, foram adotados 20 artigos para o desenvolvimento da revisão. Foram impostas as seguintes restrições na escolha dos artigos: estes deveriam ser artigos de pesquisa, publicados em revistas de Qualis A1; o período de publicação adotado foi de 2014 a 2023; e o tipo de incorporação do RCC foi a substituição. Como fatores de decisão, também foram utilizadas as características metodológicas dos estudos, referentes aos processos de desenvolvimento e avaliação dos resultados propostos.

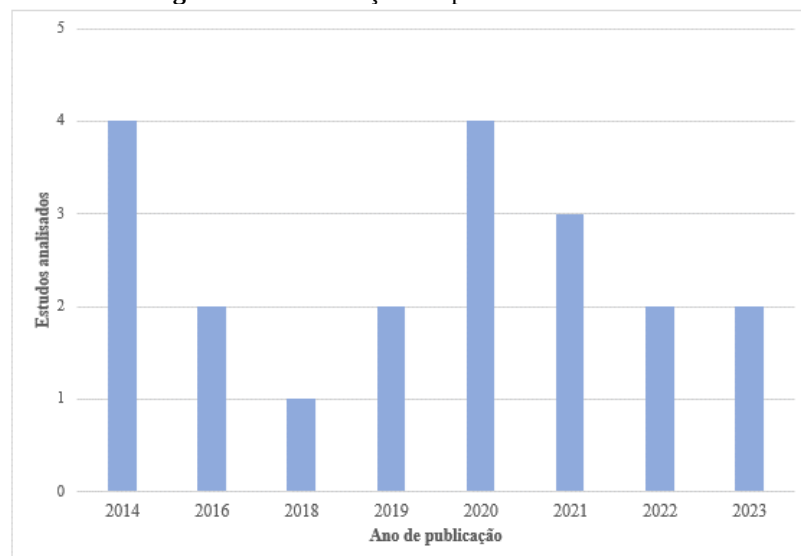
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são descritos os dados catalográficos, escopo e particularidades extraídos dos artigos. Também são apresentadas informações a respeito do processo de caracterização dos resíduos, dos materiais não reciclados utilizados e das taxas de incorporação adotadas. Os principais ensaios realizados para avaliar as características dos concretos produzidos, assim como seus resultados, são comentados em sequência. A partir disso, tentou-se identificar tendências nos resultados através das semelhanças entre os estudos.

3.1 Dados catalográficos

Para entender a relevância do tema na comunidade científica global, foram observadas as distribuições temporal e espacial dos estudos revisados. Na Figura 2, são representadas as quantidades de estudos escolhidos por ano, dentro do período de tempo proposto para análise.

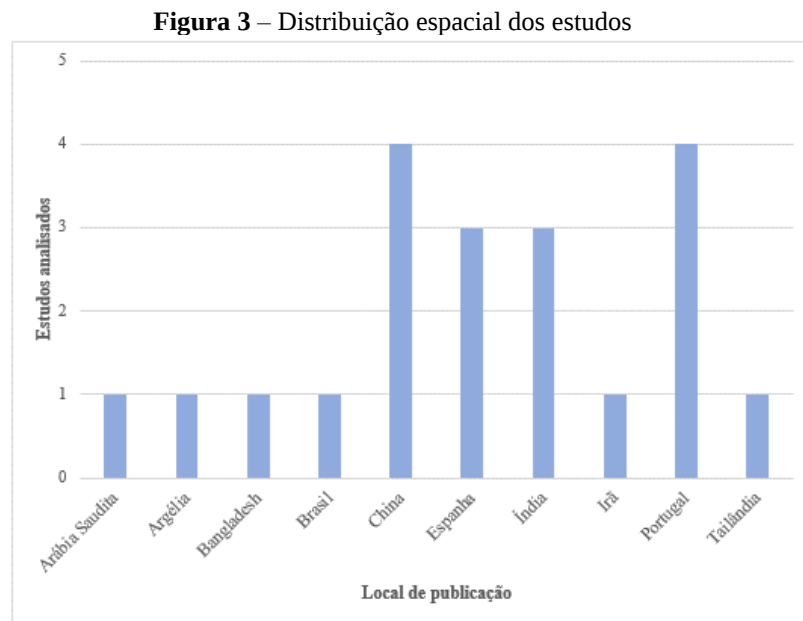
Figura 2 – Distribuição temporal dos estudos



Fonte: Autor (2023)

Pode-se depreender da Figura 2 que a maioria dos trabalhos está concentrada nos últimos 5 anos, o que significa que a percepção acadêmica sobre o tema está alinhada aos esforços atuais de tornar as atividades humanas mais sustentáveis, o que pode ser alcançado através do desenvolvimento de novas pesquisas para discutir o tema de forma abrangente.

Quanto à distribuição espacial dos artigos analisados, têm-se ilustradas na Figura 3 as quantidades de estudos escolhidos de acordo com o local de publicação.



Fonte: Autor (2023)

Dentre os países representados na Figura 3, quatro deles (Bangladesh, Brasil, China e Índia) estão entre os dez mais populosos do mundo, o que indica que a necessidade de otimizar a gestão dos recursos naturais para atender às suas populações é latente nesses países. Os dois países mais populosos, Índia e China, concentram juntos sete dos vinte estudos revisados, o que pode estar relacionado à importância crítica da indústria da construção civil no crescimento dos países, especialmente para aqueles que, como a Índia, apresentaram um rápido processo de desenvolvimento nas últimas décadas (Singh *et al.*, 2022).

Portugal e Espanha também se destacaram dentro do levantamento bibliográfico realizado, concentrando, juntos, sete dos vinte trabalhos analisados. Uma possível explicação para esse fato é que ambos os países possuem territórios relativamente pequenos, o que implica numa menor disponibilidade de recursos, gerando maior necessidade de reaproveitamento dos resíduos. Segundo Abreu, Evangelista e Brito (2018), os RCC representam de 25% a 30% de

todos os resíduos gerados na União Europeia, o que justifica o desenvolvimento acentuado de pesquisas na área em países que são membros do bloco.

No Brasil, o esforço e incentivo à reutilização de RCC é fundamental, tendo em vista o crescimento da construção civil no país e os impactos ambientais decorrentes da extração desenfreada de recursos naturais em um território de dimensões continentais. Ainda, o volume de RCC coletado é disposto primariamente em aterros, causando danos ao meio ambiente devido ao amplo uso do solo e ao processo de transporte dos resíduos desde os centros urbanos até sua destinação final (Ortolan *et al.*, 2023).

No caso de países como Argélia e Irã, a baixa disponibilidade de depósitos de agregados naturais (Kazemian; Rooholamini; Hassani, 2019) propulsiona a ampliação de processos de reciclagem dos RCC. Conforme apontado por Datta *et al.* (2022), a geração anual de resíduos de concreto tem crescido continuamente desde 2012. Este fato promove a pesquisa e o reuso de materiais, reduzindo o consumo energético e a preservação de fontes naturais.

3.2 Escopo e particularidades

Os artigos selecionados para revisão apresentam objetivos de pesquisa e características particulares diversas. Foram identificadas similaridades entre alguns dos trabalhos, o que tornou possível agrupá-los em torno de semelhanças mais abrangentes. Essas semelhanças consistiram em estudos que analisaram: reciclagens múltiplas de resíduos; avaliação da durabilidade do concreto (absorção de água, penetração de cloretos, carbonatação, previsão de vida útil etc.); tratamentos não usuais para os RCC; tipos e origens dos agregados utilizados; e alterações no componente aglomerante (cimento) utilizado no concreto.

Abreu, Evangelista e Brito (2018) avaliaram a performance mecânica de concretos produzidos com agregados reciclados três vezes, enquanto Zhu *et al.* (2019) e Silva, Evangelista e Brito (2021) concentraram seus estudos na avaliação da durabilidade do concreto preparado após três gerações de reciclagem dos agregados provenientes de RCC.

Bao *et al.* (2020) e Dang *et al.* (2020) buscaram entender o comportamento da absorção de água e penetração de cloretos no concreto produzido com incorporação de RCC. Ortolan *et al.* (2023) observaram, além da penetração de cloretos, a performance mecânica e a profundidade de carbonatação, tratando da previsão de vida útil do concreto sob essas agressões.

Em três estudos foram realizados processos não tradicionais nos resíduos utilizados. Alqarni *et al.* (2021) verificaram a eficácia de três formas de tratamento dos agregados reciclados: pasta de cimento-sílica, solução de silicato de sódio e abrasão Los Angeles. Por

outro lado, Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019) trataram os RCC com pré-imersão em ácido e pastas de metasilicato de cálcio. Berredjem, Arabi e Molez (2020) conservaram os corpos de prova em três tipos distintos de água, a saber: água proveniente da rede de abastecimento público; água deionizada; e água salgada.

Quanto aos tipos de agregados utilizados, Pedro, Brito e Evangelista (2014) substituíram 100% do agregado gráudo por RCC. Alves *et al.* (2014) estudaram o comportamento de concretos incorporando resíduos cerâmicos como agregados miúdos, enquanto Anderson, Smith e Au (2016) substituíram os agregados cerâmicos na parcela de agregados gráudos. Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014) incorporaram resíduos cerâmicos como agregados miúdos e resíduos mistos como agregados gráudos para produzir um concreto de alta performance. Soni e Shukla (2021) trituraram os resíduos de agregados reciclados gráudos para incorporá-los na fração miúda da composição do concreto.

Datta *et al.* (2022) verificaram a influência do tamanho e do conteúdo dos agregados gráudos nas propriedades do concreto, e Singh *et al.* (2022) incorporaram agregados miúdos reciclados em concretos cujos agregados gráudos eram naturais ou reciclados. Thomas *et al.* (2014) analisaram o limite de fadiga de concretos com agregados reciclados, e Thomas, Setién e Polanco (2016) avaliaram a durabilidade e performance mecânica de um concreto preparado com finalidade estrutural utilizando agregados reciclados provenientes de pré-moldados.

Por fim, Muduli e Mukharjee (2020) realizaram incorporação de metacaulim no aglomerante cimentício para melhorar a qualidade e as propriedades do concreto; essa incorporação foi realizada substituindo porcentagens de 5% a 20%. E Sua-iam e Makul (2023) produziram um concreto autoadensável substituindo 20%, 35% e 50% do cimento por cinzas volantes e utilizando um aditivo superplastificante de policarboxilato.

3.3 Caracterização dos resíduos

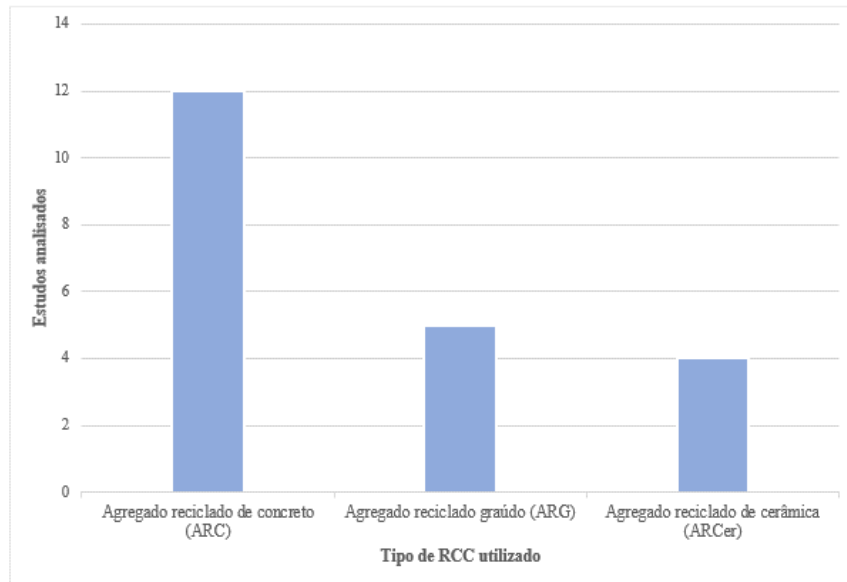
Dentro do conjunto de artigos revisados, verificou-se a existência de três tipos de RCC utilizados no processo de incorporação para substituir frações dos agregados naturais: agregados reciclados de concreto (ARC); agregados reciclados gráudos (ARG); e agregados reciclados de cerâmica (ARCer), conforme apresentado nos estudos.

Na Figura 4 estão representadas as quantidades de estudos nos quais cada um dos tipos de RCC foi utilizado. O total apresentado na tabela é maior que o número de artigos revisados pois um dos estudos utilizou dois tipos de agregados.

O agregado reciclado de concreto é predominante. Por esse termo, entende-se todo e

qualquer material granular constituído predominantemente por resíduos de concreto. A abundância de estruturas de concreto, em todo o mundo, promove uma grande disponibilidade de resíduos adequados ao processo de reaproveitamento.

Figura 4 – Estudos por tipo de RCC incorporado



Fonte: Autor (2023)

Por outro lado, os agregados reciclados graúdos e os agregados reciclados de cerâmicas são aqueles provenientes de processos de beneficiamento dos RCC de Classe A, em cuja composição haja parcelas significativas de resíduos de materiais granulares ou cerâmicos. Ambas as nomenclaturas são englobadas pelo termo “agregados reciclados mistos”, estabelecido pela NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2021).

Segundo a referida norma, além da necessidade de os materiais utilizados para a produção de agregados reciclados estarem enquadrados na Classe A da Resolução CONAMA nº 307, esses materiais residuais não podem conter nenhum tipo de substância cuja natureza ou quantidade afetem aspectos como a hidratação e endurecimento do cimento, a proteção das armaduras contra a corrosão e a durabilidade do concreto (ABNT, 2021).

Quanto às origens dos RCC, alguns autores informaram os tipos de obras ou locais de tratamento de onde os RCC foram obtidos, enquanto outros produziram seus resíduos em laboratório. Também houve variações quanto ao material originário (concreto armado, protendido, tijolos e telhas cerâmicos etc.). Na Tabela 1, constam informações referentes aos tipos e origens dos RCC utilizados como agregados em cada um dos trabalhos analisados.

Para identificar as propriedades apresentadas pelos resíduos e verificar a viabilidade de uso

destes como agregados no concreto, os autores realizaram ensaios de caracterização. No Brasil, a NBR 15116 estabelece alguns ensaios específicos para os agregados reciclados; também é possível, para maior precisão, realizar os mesmos ensaios previstos para os agregados naturais pela NBR 7211: Agregados para concretos - Ensaio (ABNT, 2021, 2022).

Tabela 1 – Classificação e origem dos RCC

Autores	Tipo de RCC	Origem do RCC
Abreu, Evangelista e Brito (2018)	ARC	Concreto de origem controlada
Alqarni <i>et al.</i> (2021)	ARC	Concretos de baixa qualidade
Alves <i>et al.</i> (2014)	ARCer	Tijolos de alvenaria e rejeitos de louças sanitárias
Anderson, Smith e Au (2016)	ARCer	Telhas cerâmicas
Bao <i>et al.</i> (2020)	ARC	Concreto de origem controlada
Berredjem, Arabi e Molez (2020)	ARC	Concretos de propriedades desconhecidas
Dang <i>et al.</i> (2020)	ARCer	Tijolos de alvenaria
Datta <i>et al.</i> (2022)	ARC	Concreto de origem controlada
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	ARCer e ARG	Resíduos triturados de indústria e usina de tratamento
Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019)	ARG	Resíduos provenientes de aterro sanitário
Muduli e Mukharjee (2020)	ARC	Concreto tratado
Ortolan <i>et al.</i> (2023)	ARG	Concreto tratado
Pedro, Brito e Evangelista (2014)	ARC	Concreto tratado em laboratório e rejeitos de pré-moldados
Silva, Evangelista e Brito (2021)	ARG	Concreto de origem controlada
Singh <i>et al.</i> (2022)	ARC	Concreto de origem controlada
Soni e Shukla (2021)	ARG	Resíduo de concreto tratado
Sua-iam e Makul (2023)	ARC	Resíduos de concreto protendido
Thomas <i>et al.</i> (2014)	ARC	Usina de tratamento
Thomas, Setién e Polanco (2016)	ARC	Concreto tratado
Zhu <i>et al.</i> (2019)	ARC	Concreto de origem controlada

Fonte: Autor (2023)

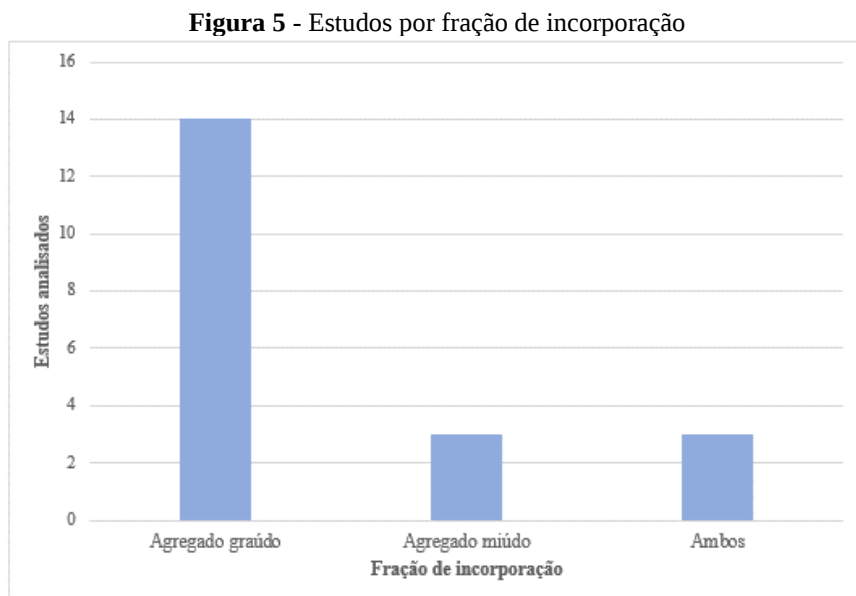
Cada estudo seguiu os padrões de ensaios recomendados em seus locais de publicação (usualmente, padrões americanos, europeus ou nacionais). Foi observado que os ensaios que mais se repetiram entre os trabalhos foram: absorção de água; abrasão Los Angeles; densidade; densidade aparente; gravidade específica; e gravidade específica aparente. Alguns estudos realizaram ensaios de módulo de finura, índice de vazios e difração de raios-X. Os resultados obtidos permitiram aos autores concluir a adequação dos resíduos utilizados para incorporação e produção de concretos sustentáveis.

Abreu, Evangelista e Brito (2018), Zhu *et al.* (2019) e Silva, Evangelista e Brito (2021)

observaram que a qualidade dos RCC diminui quando estes são reciclados mais de uma vez. Muduli e Mukharjee (2020) concluíram que as performances física e mecânica dos agregados reciclados são inferiores quando comparadas às dos agregados naturais. Particularmente, a absorção de água é consideravelmente maior, devido à presença de argamassa residual aderida à superfície dos agregados reciclados (Alqarni *et al.*, 2021; Alves *et al.*, 2014).

3.4 Materiais e taxas de incorporação

Todos os estudos analisados realizaram a incorporação substituindo porcentagens relativas das quantidades de agregados naturais por RCC. Na Figura 5 são mostrados os números de estudos que incorporaram o resíduo como agregado miúdo, graúdo ou ambos.



Fonte: Autor (2023)

Como é possível observar na Figura 5, a incorporação de RCC como agregados graúdos é predominante na maioria dos estudos. Singh *et al.* (2022) mencionam que, em trabalhos anteriores, havia muitas hesitações quanto à incorporação de agregados reciclados miúdos. Esse fato pode ser devido à maior absorção de água apresentada pelos agregados reciclados miúdos, comprometendo a durabilidade, performance mecânica e trabalhabilidade do concreto se não houver a adoção de uma relação água-cimento adequada.

O Quadro 2 contém informações gerais sobre as incorporações realizadas em cada estudo, onde são detalhadas as porcentagens adotadas, os cimentos e agregados naturais utilizados. As substituições das quantidades de agregados naturais por RCC foram realizadas em relação às

massas e volumes, tanto das parcelas às quais foram incorporadas quanto dos totais estabelecidos para os agregados. Os cimentos utilizados na produção dos concretos, cujas nomenclaturas aparecem em formas idênticas às apresentadas nos trabalhos, são de tipos usualmente empregados em obras cotidianas de engenharia civil, segundo os autores.

Quadro 2 – Informações gerais

Autores	Incorporação	Porcentagens	Cimentos / Agregados naturais
Abreu, Evangelista e Brito (2018)	Agregado graúdo	25 e 100%	Cimento CEM* I 42.5 R Areia e cascalho
Alqarni <i>et al.</i> (2021)	Agregado graúdo	33, 67 e 100%	Cimento OPC** Areia e calcário triturado
Alves <i>et al.</i> (2014)	Agregado miúdo	20, 50 e 100%	Cimento CEM II A-L 42.5 R Areia sílica e cascalho
Anderson, Smith e Au (2016)	Agregado graúdo	20, 25, 35, 50, 65, 75, 80 e 100%	Cimento SPC*** Granito triturado
Bao <i>et al.</i> (2020)	Agregado graúdo	30, 50 e 100%	Cimento OPC 42.5 Areia e granito triturado
Berredjem, Arabi e Molez (2020)	Ambos	25 e 100%	Cimento CEM II 42.5 Calcário triturado
Dang <i>et al.</i> (2020)	Agregado miúdo	50 e 100%	Cimento OPC 42.5 Areia e pedra britada de calcário
Datta <i>et al.</i> (2022)	Agregado graúdo	15, 30 e 45%	Cimento OPC Areia e lascas de pedra
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	Ambos	15 e 30%; 20, 50 e 100%	Cimento CEM I 52.5 R Areia, cascalho e dolomita triturada
Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019)	Agregado graúdo	25 e 50%	Cimento Type I Areia e arenito silicoso
Muduli e Mukharjee (2020)	Agregado graúdo	50 e 100%	Cimento OPC Grade 43 Areia e pedras de granito trituradas
Ortolan <i>et al.</i> (2023)	Agregado graúdo	25, 50 e 75%	Cimento CP-V ARI Areia e basáltico
Pedro, Brito e Evangelista (2014)	Agregado graúdo	100%	Cimento CEM I 42.5 R Areia e calcário triturado
Silva, Evangelista e Brito (2021)	Agregado graúdo	25 e 100%	Cimento CEM I 42.5 R Cascalho de calcário triturado
Singh <i>et al.</i> (2022)	Ambos	30, 60 e 100%; 100%	Cimento OPC Grade 43 Areia e dolomita triturada
Soni e Shukla (2021)	Agregado miúdo	50 e 100%	Cimento OPC Grade 53 Areia e pedras de granito trituradas
Sua-iam e Makul (2023)	Agregado graúdo	25, 50, 75 e 100%	Cimento OPC Type I Areia e rocha de calcário triturada
Thomas <i>et al.</i> (2014)	Agregado graúdo	20, 50 e 100%	Cimento CEM I 52.5 N/SR Areia e cascalho
Thomas, Setién e Polanco (2016)	Agregado graúdo	20, 50 e 100%	Cimento CEM I 52.5 N/SR Areia e cascalho
Zhu <i>et al.</i> (2019)	Agregado graúdo	100%	Cimento CEM I 52.5 R Areia e pedrisco

Fonte: Autor (2023)

* CEM: Abreviação de *Cement* (Cimento)

** OPC: *Ordinary Portland Cement* (Cimento Portland Comum)

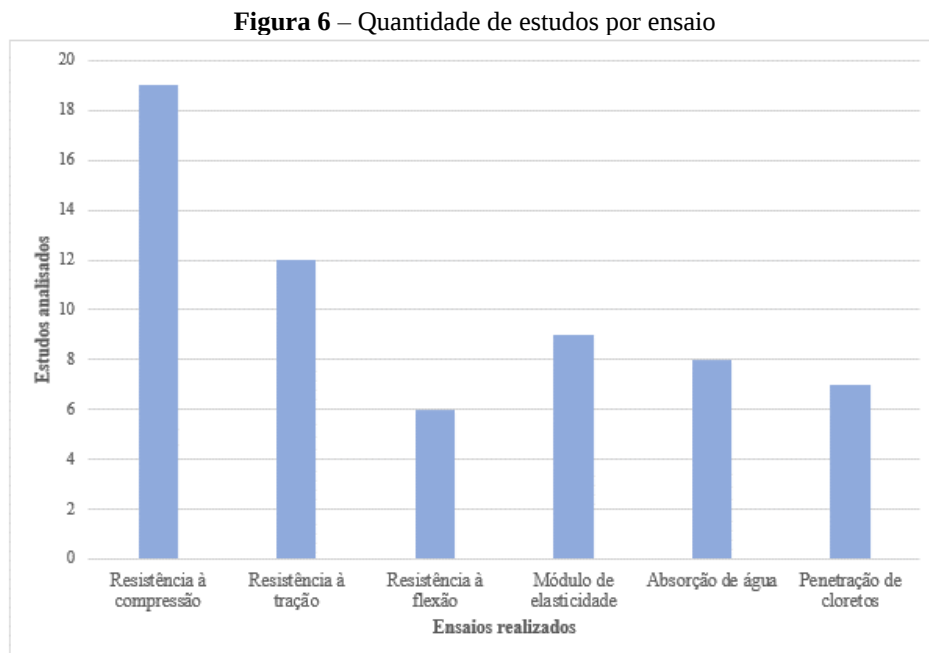
*** SPC: *Standard Portland Cement* (Cimento Portland Padrão)

3.5 Análise do concreto

Para analisar os aspectos definidos, os autores de cada artigo escolheram conjuntos de ensaios julgados como mais pertinentes às propriedades visadas. Foram realizados ensaios tradicionais para concretos nos estados fresco e endurecido: densidade, porosidade, teste de *slump*, trabalhabilidade, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à flexão, resistência à abrasão, módulo de elasticidade, absorção e permeabilidade de água, retração por secagem e resistências à penetração de cloretos e à carbonatação. Thomas *et al.* (2014), especificamente, realizaram também testes de fadiga.

Os ensaios do concreto, tais como aqueles realizados para caracterizar os RCC, seguiram as recomendações comumente adotadas nos locais de desenvolvimento dos estudos. Para os ensaios relacionados ao comportamento mecânico do concreto (resistências à compressão, à tração, à flexão, módulo de elasticidade etc.), foram detalhados, pela maioria dos trabalhos, as idades de cura do concreto para a realização de cada ensaio. Poucos estudos não mencionaram as idades para as quais os ensaios de performance mecânica foram executados.

Na Figura 6 são ilustradas as quantidades dos ensaios que mais se repetiram.



Fonte: Autor (2023)

De acordo com a Figura 6, nota-se que o ensaio de resistência à compressão é praticamente unânime em estudos que visam avaliar a qualidade do concreto, tendo sido realizado em dezenove dos vinte trabalhos analisados. As principais idades para as quais o ensaio foi

realizado foram de 7, 28 e 56 dias. Alguns estudos também avaliaram, de forma não simultânea, a resistência à compressão para as idades de 14, 63, 90, 91, 180, 270 e 360 dias.

A resistência à tração foi avaliada, majoritariamente, aos 28 dias por Abreu, Evangelista e Brito (2018); Alves *et al.* (2014); Berredjem, Arabi e Molez (2020); Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Muduli e Mukharjee (2020); Singh *et al.* (2022); Soni e Shukla (2021); e Zhu *et al.* (2019). Os trabalhos desenvolvidos por Alqarni *et al.* (2021); Anderson, Smith e Au (2016); Thomas *et al.* (2014); e Thomas, Setién e Polanco (2016) não especificaram as idades do concreto para a realização do ensaio de resistência à tração.

Por sua vez, o ensaio de resistência à flexão foi realizado, nas idades de 7 e 28 dias, por Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Muduli e Mukharjee (2020); Singh *et al.* (2022); e Soni e Shukla (2021). Anderson, Smith e Au (2016) e Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019) não especificaram as idades do concreto para o ensaio de resistência à flexão.

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade, executado na idade de 28 dias, foi feito nos estudos de Abreu, Evangelista e Brito (2018); Alves *et al.* (2014); Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Ortolan *et al.* (2023); Pedro, Brito e Evangelista (2014); e Sua-iam e Makul (2023). Anderson, Smith e Au (2016); Thomas *et al.* (2014); e Thomas, Setién e Polanco (2016) não especificaram as idades do concreto para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade.

A absorção de água do concreto foi estudada por Alqarni *et al.* (2021); Berredjem, Arabi e Molez (2020); Dang *et al.* (2020); Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Ortolan *et al.* (2023); Pedro, Brito e Evangelista (2014); Silva, Evangelista e Brito (2014); e Thomas, Setién e Polanco (2021). E a penetração de cloretos no concreto foi investigada nos estudos desenvolvidos por Dang *et al.* (2020); Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Muduli e Mukharjee (2020); Ortolan *et al.* (2023); Pedro, Brito e Evangelista (2014); Silva, Evangelista e Brito (2014); e Zhu *et al.* (2019).

3.6 Resultados dos ensaios

As Tabelas 2 a 5 contêm os dados relativos aos resultados obtidos dos ensaios de resistência do concreto à compressão, tração e flexão, assim como do ensaio de determinação do módulo de elasticidade. Foram representados nas tabelas os resultados que apresentaram as menores variações (cujos valores estão entre parênteses) em relação aos traços de referência utilizados nos estudos. A partir da escolha destes valores, foram determinadas as porcentagens “ótimas” de incorporação de RCC, para as condições específicas de cada estudo, assim como

as idades correspondentes para os corpos de prova utilizados na execução dos ensaios.

Na Tabela 2 constam os dados referentes ao ensaio de resistência à compressão.

Tabela 2 – Ensaio de resistência à compressão

Autores	% ótima	Idade	Resultado
Abreu, Evangelista e Brito (2018)	25%	28 dias	59,7 MPa (+ 6,8%)
Alqarni <i>et al.</i> (2021)	33%	-	31,0 MPa (+ 15,0%)
Alves <i>et al.</i> (2014)	50%	56 dias	47,0 MPa (- 1,7%)
Anderson, Smith e Au (2016)	25%	-	50,6 MPa (+ 9,5%)
Bao <i>et al.</i> (2020)	30%	28 dias	40,0 MPa (- 4,8%)
Berredjem, Arabi e Molez (2020)	75% + 25%	360 dias	52,0 MPa (+ 5,1%)
Datta <i>et al.</i> (2022)	15%	56 dias	44,0 MPa (- 15,4%)
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	30%	180 dias	118,6 MPa (+ 18,5%)
Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019)	25%	90 dias	37,5 MPa (- 1,3%)
Muduli e Mukharjee (2020)	50%	28 dias	40,0 MPa (- 1,2%)
Ortolan <i>et al.</i> (2023)	25%	91 dias	36,0 MPa (- 14,3%)
Pedro, Brito e Evangelista (2014)	100%	28 dias	56,0 MPa (- 3,4%)
Silva, Evangelista e Brito (2021)	25%	28 dias	59,7 MPa (+ 6,8%)
Singh <i>et al.</i> (2022)	30%	90 dias	45,5 MPa (+ 1,1%)
Soni e Shukla (2021)	100%	90 dias	94,9 MPa (- 0,0%)
Sua-iam e Makul (2023)	25%	91 dias	75,0 MPa (+ 7,1%)
Thomas <i>et al.</i> (2014)	20%	-	56,5 MPa (- 6,0%)
Thomas, Setién e Polanco (2016)	100%	28 dias	38,4 MPa (+ 5,2%)
Zhu <i>et al.</i> (2019)	100%	28 dias	40,0 MPa (- 18,4%)

Fonte: Autor (2023)

Bao *et al.* (2020); Berredjem, Arabi e Molez (2020); Datta *et al.* (2022); Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019); Ortolan *et al.* (2023); e Zhu *et al.* (2019) verificaram que, quanto maior a porcentagem de incorporação de RCC no concreto, maior a redução sofrida na resistência à compressão. Essa redução, no entanto, não pode ser explicada unicamente pela taxa de incorporação de RCC. A qualidade dos agregados, o número de ciclos de reciclagem (Abreu; Evangelista; Brito, 2018), a razão entre os agregados naturais e reciclados (Singh *et al.*, 2022) e o tempo de cura do concreto (Sua-iam; Makul, 2023) afetam a sua resistência.

Muduli e Mukharjee (2020) chegaram à conclusão de que a incorporação de pequenas porcentagens de materiais aglomerantes no cimento é capaz de mitigar os impactos negativos da incorporação de RCC. Os autores obtiveram como traço ótimo a substituição de 50% dos agregados naturais por agregados reciclados e 15% de cimento por metacaulim. Sua-iam e Makul (2023), por sua vez, encontraram as taxas de 25% de agregados reciclados e 20% de

cinzas volantes como o traço de incorporação ótima.

Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014) verificaram que, quanto maior a idade do concreto, maior a resistência à compressão adquirida pelo material. Zhu *et al.* (2019) afirmam que, apesar da redução nas resistências, o concreto reciclado ainda pode ser utilizado com segurança em aplicações estruturais.

A Tabela 3 contém os dados relativos ao ensaio de resistência à tração.

Tabela 3 – Ensaio de resistência à tração

Autores	% ótima	Idade	Resultado
Abreu, Evangelista e Brito (2018)	25%	28 dias	4,0 MPa (- 4,2%)
Alqarni <i>et al.</i> (2021)	33%	-	4,1 MPa (+ 2,4%)
Alves <i>et al.</i> (2014)	50%	-	3,5 MPa (- 2,0%)
Anderson, Smith e Au (2016)	25%	-	3,8 MPa (+ 22,6%)
Berredjem, Arabi e Molez (2020)	75% + 25%	360 dias	5,2 MPa (+ 5,1%)
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	30%	28 dias	5,3 MPa (+ 2,3%)
Muduli e Mukharjee (2020)	50%	28 dias	3,1 MPa (- 0,3%)
Singh <i>et al.</i> (2022)	100%	90 dias	3,1 MPa (- 1,6%)
Soni e Shukla (2021)	0%	28 dias	4,7 MPa (- 0,0%)
Thomas <i>et al.</i> (2014)	20%	-	2,9 MPa (- 11,9%)
Thomas, Setién e Polanco (2016)	100%	28 dias	1,9 MPa (+ 38,6%)
Zhu <i>et al.</i> (2019)	100%	28 dias	4,5 MPa (- 30,8%)

Fonte: Autor (2023)

Abreu, Evangelista e Brito (2018) indicaram que, apesar dos impactos negativos na performance mecânica do concreto, o processo de reciclagem em sequência tende a um valor assintótico, no qual as propriedades se estabilizam. A mesma conclusão também foi alcançada no estudo realizado por Silva, Evangelista e Brito (2021).

Na Tabela 4, estão representadas informações relativas ao ensaio de resistência à flexão.

Tabela 4 – Ensaio de resistência à flexão

Autores	% ótima	Idade	Resultado
Anderson, Smith e Au (2016)	25%	-	5,4 MPa (- 3,6%)
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	15%	7 dias	8,3 MPa (+ 28,4%)
Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019)	25%	-	5,1 MPa (- 1,9%)
Muduli e Mukharjee (2020)	50%	28 dias	4,6 MPa (- 0,0%)
Singh <i>et al.</i> (2022)	100%	90 dias	5,1 MPa (- 1,0%)
Soni e Shukla (2021)	0%	90 dias	8,3 MPa (- 0,0%)

Fonte: Autor (2023)

Anderson, Smith e Au (2016); Muduli e Mukharjee (2020); e Singh et al. (2022) concluíram que a resistência à flexão não é tão impactada pela incorporação de RCC.

Na Tabela 5 constam dados sobre o ensaio de determinação do módulo de elasticidade.

Tabela 5 – Ensaio de determinação do módulo de elasticidade

Autores	% ótima	Idade	Resultado
Abreu, Evangelista e Brito (2018)	25%	28 dias	41,2 GPa (- 9,2%)
Alves <i>et al.</i> (2014)	50%	-	32,4 GPa (- 2,0%)
Anderson, Smith e Au (2016)	100%	-	27,4 GPa (+ 26,9%)
Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014)	30%	28 dias	50,0 GPa (- 0,9%)
Ortolan <i>et al.</i> (2023)	25%	91 dias	35,5 GPa (- 13,4%)
Pedro, Brito e Evangelista (2014)	100%	28 dias	40,0 GPa (- 14,9%)
Sua-iam e Makul (2023)	25%	91 dias	42,0 GPa (+ 5,0%)
Thomas <i>et al.</i> (2014)	20%	-	35,5 GPa (- 2,2%)
Thomas, Setién e Polanco (2016)	20%	28 dias	33,9 GPa (- 3,7%)

Fonte: Autor (2023)

Alves *et al.* (2014) e Ortolan *et al.* (2023) concluíram que o aumento da porcentagem de incorporação provoca reduções no módulo de elasticidade do concreto. Pedro, Brito e Evangelista (2014) atribuem essa redução à dependência que o módulo de elasticidade do concreto possui em relação aos módulos de elasticidade dos agregados utilizados, os quais, para agregados provenientes de RCC, são pequenos devido à baixa qualidade dos mesmos. Segundo esses autores, a performance do concreto reciclado está diretamente relacionada às propriedades apresentadas pelo material originário do RCC.

Os ensaios de absorção de água e penetração de cloretos realizados não estão detalhados devido às diferenças metodológicas entre os estudos, relativas ao tempo de execução e condições ambiente dos ensaios. Quanto à absorção de água, à penetração de cloretos, Ortolan *et al.* (2023); Dang *et al.* (2020); e Datta *et al.* (2022) afirmam que estas propriedades aumentarão quanto maiores forem as taxas de substituição de agregados reciclados no concreto. A microestrutura dos agregados reciclados e a presença, em suas superfícies, de resíduos de argamassa aderente explicam o aumento destas propriedades.

Por fim, quanto a aspectos mais específicos avaliados em cada artigo, Alqarni *et al.* (2021) e Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019) ressaltam que o tratamento dos agregados utilizados produz melhoras na performance do concreto. Por outro lado, Alves *et al.* (2014); Thomas *et al.* (2014); e Thomas, Setién e Polanco (2016) concordam que o acréscimo de aditivos na composição do concreto, tais como superplastificantes, torna o concreto

sustentável mais eficiente e viável. E, conforme descoberto por Thomas *et al.* (2014), as propriedades estáticas são menos afetadas pela incorporação de resíduos do que as propriedades dinâmicas; os autores observaram que o limite de fadiga é negativamente impactado pelo uso de RCC e não recomendam a substituição de 100% dos agregados.

Conforme os resultados explanados, é possível identificar que o concreto tende a sofrer impactos negativos em sua performance mecânica à medida que a taxa de incorporação de RCC aumenta. Os efeitos positivos da incorporação foram obtidos para baixas porcentagens de agregados reciclados, por volta de 20% a 30%. No entanto, os prejuízos podem ser atenuados com o emprego de processos de tratamento dos resíduos e o uso de aditivos.

Por outro lado, aspectos relacionados à durabilidade do material, como a absorção de água e a penetração de cloretos, tendem a aumentar quanto maiores as taxas de incorporação, prejudicando o comportamento do concreto ao longo de sua vida útil. Isso se deve a, entre outras razões, a alteração na relação água-cimento e a ocorrência de reações químicas dos íons cloreto com os componentes do concreto.

4 CONCLUSÕES

Através da análise e descrição dos processos metodológicos e resultados obtidos nos estudos selecionados, foi possível identificar e extrair algumas conclusões capazes de nortear futuros trabalhos relativos à temática de incorporação de RCC em concretos (e outros materiais cimentícios). Todos os artigos revisados possuíam objetivos específicos distintos, mas interligados pela proposta de desenvolvimento de concretos sustentáveis.

Com a realização de diversos tipos de ensaios de caracterização dos resíduos e de avaliação das performances mecânicas e durabilidade dos concretos produzidos, nos estados fresco e endurecido, pôde-se concluir que a incorporação de RCC como agregado exige cautela e providências especiais. Segundo os estudos de Abreu, Evangelista e Brito (2018); Alqarni *et al.* (2021); Anderson, Smith e Au (2016); Gonzalez-Corominas e Etxeberria (2014); Kazemian, Rooholamini e Hassani (2019); Silva, Evangelista e Brito (2021); e Sua-iam e Makul (2023), observa-se que os melhores resultados são obtidos em concretos com tempo de cura razoável, de no mínimo 28 dias, e com taxas de incorporação pequenas, de até 30%.

Foi possível concluir também que, sob certas condições, é possível substituir altas porcentagens de agregados naturais por agregados reciclados, como foi feito por Alves *et al.* (2014); Berredjem, Arabi e Molez (2020); Soni e Shukla (2021); e Zhu *et al.* (2019). Para isso, no entanto, é necessário realizar processos de tratamento e/ou beneficiamento do RCC

ou utilizar aditivos químicos para alterar as características do concreto. Também é viável incorporar grandes quantidades de RCC quando as propriedades do material que originou os resíduos são conhecidas, como nos estudos de Alves *et al.* (2014); Muduli e Mukharjee (2020); Pedro, Brito e Evangelista (2014); e Thomas, Setién e Polanco (2016).

Ainda, viu-se que o uso de materiais cimentícios suplementares, como o metacaulim, utilizado por Muduli e Mukharjee (2020); e as cinzas volantes, incorporadas por Sua-iam e Makul (2023), melhoram os efeitos positivos e reduzem os impactos advindos do uso de agregados reciclados. As condições de cura, estudadas por Thomas, Setién e Polanco (2016), e fatores como a relação água-cimento, o tamanho e a variedade dos grãos, analisados por Alqarni *et al.* (2021), também são aspectos relevantes para a previsão do comportamento que o concreto produzido com agregados reciclados apresentará depois de pronto.

Foi possível depreender que a incorporação, junto aos RCC, de materiais cimentícios suplementares; a realização de processos de tratamento dos resíduos; e a utilização de componentes químicos especiais, como aditivos; constituem uma tendência apresentada pelos estudos mais recentes na área de desenvolvimento de materiais sustentáveis.

Recomenda-se, para a realização de futuras revisões literárias sobre o tema, que estas analisem com maior profundidade e riqueza de detalhes todas as etapas metodológicas propostas, desde a escolha dos objetivos e particularidades do estudo, até os aspectos relativos à realização dos ensaios de caracterização e avaliação das propriedades do material sustentável produzido após o desenvolvimento da pesquisa analisada.

REFERÊNCIAS

ABREU, V.; EVANGELISTA, L.; BRITO, J. The effect of multi-recycling on the mechanical performance of coarse recycled aggregates concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 188, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.178>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818318506?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ALQARNI, A. S.; ABBAS, H.; AL-SHWIKH, K. M.; AL-SALLOUM, Y. A. Treatment of recycled concrete aggregate to enhance concrete performance. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 307, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124960>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821027100?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ALVES, A. V.; VIEIRA, T. F.; BRITO, J.; CORREIA, J. R. Mechanical properties of structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 64, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.037>.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814003547?via%3Dihub>.

Acesso em: 12 nov. 2023.

ANDERSON, D. J.; SMITH, S. T.; AU, F. T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 117, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.153>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816307085?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-18112005-155825/publico/caracterizacaoSA.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

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.

AZAMBUJA, R. R.; CASTRO, V. G.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Utilization of construction and demolition waste for particleboard production. **Journal of Building Engineering**, Amsterdã, v. 20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.07.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710218302870?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

BAO, J.; LI, S.; ZHANG, P.; DING, X.; XUE, S.; CUI, Y.; ZHAO, T. Influence of the incorporation of recycled coarse aggregate on water absorption and chloride penetration into concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 239, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117845>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819332982?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BERREDJEM, L.; ARABI, N.; MOLEZ, L. Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 246, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820304268?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BORGES, P. M.; SCHIAVON, J. Z.; SILVA, S. R.; RIGO, E.; NEVES JUNIOR, A.; POSSAN, E.; ANDRADE, J. J. O. Mortars with recycled aggregate of construction and demolition waste: Mechanical properties and carbon uptake. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 387, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131600>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823013132?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. Diário Oficial da União, n. 136, de 17 de julho de 2002, p. 95-96. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305. Acesso em: 30 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 348, de 16 de agosto de 2004**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. 2004. Diário Oficial da União, n. 158, de 17 de agosto de 2004, p. 70. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=440. Acesso em: 30 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 431, de 24 de maio de 2011**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. 2011. Diário Oficial da União, n. 99, de 25 de maio de 2011, p. 123. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=630. Acesso em: 30 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2012. Diário Oficial da União, n. 14, de 19 de janeiro de 2012. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=652. Acesso em: 09 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 469, de 29 de julho de 2015**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. 2015. Diário Oficial da União, n. 144, de 30 de julho de 2015, p. 109-110. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=688. Acesso em: 30 jun. 2023.

CHEN, B.; ZHENG, Y.; ZHAO, Y.; WANG, Y.; ZHOU, T. Recycled brick powder from construction and demolition waste as waterborne coating filler with robust scrubbing resistance. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 385, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131494>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823012072?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

CHEN, K.; WANG, J.; YU, B.; WU, H.; ZHANG, J. Critical evaluation of construction and demolition waste and associated environmental impacts: A scientometric analysis. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 287, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125071>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620351155?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jun. 2023.

CORDEIRO, L. N. P.; MASUERO, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; SOUZA, P. S. L.; PAES, I. N. L. Avaliação de processos de misturas de concretos com agregados graúdos reciclados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 255-265, jul./set. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300174>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/Kv6kpVVQHJCgQYYKq3BgZCp/?lang=pt>. Acesso em: 08 jul. 2023.

COSTA, R. V. G.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; OLIVEIRA, M. M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 127-137, jan./mar. 2014. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QkC63LDYbbxpPkKQ7sKW7Sv/?lang=pt#>. Acesso em: 30 jun. 2023.

DANG, J.; ZHAO, J.; PANG, S. D.; ZHAO, S. Durability and microstructural properties of concrete with recycled brick as fine aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 262, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820320377?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

DATTA, S. D.; SOBUZ, M. H. R.; AKID, A. S. M.; ISLAM, S. Influence of coarse aggregate size and content on the properties of recycled aggregate concrete using non-destructive testing methods. **Journal of Building Engineering**, Amsterdã, v. 61, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105249>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222012554?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

DENG, X.; LI, J.; LU, Z.; ZHANG, J.; LUO, K.; NIU, Y.; HU, J.; HE, K. Rheological and early hydration of cementitious material containing recycled concrete powders collected from recycled aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 393, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132108>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823018226?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

GOMES JÚNIOR, E.; BELLO, M. I. M. C. V. Diagnosis of construction and demolition waste management (CDW) in the city of Caruaru, Pernambuco. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S. l.], v. 10, n. 78, 2022. DOI: [10.17271/23188472107820223269](https://doi.org/10.17271/23188472107820223269). Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/3269. Acesso em: 30 jun. 2023.

GONZALEZ-COROMINAS, A.; ETXEBERRIA, M. Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 68, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814007314?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

HELMY, S. H.; TAHWIA, A. M.; MAHDY, M. G.; ELRAHMAN, M. A. Development and characterization of sustainable concrete incorporating a high volume of industrial waste materials. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 365, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822038168?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

JUAN-VALDÉS, A.; RODRÍGUEZ-ROBLES, D.; GARCÍA-GONZÁLEZ, J.; GÓMEZ, M. I. S. R.; GUERRA-ROMERO, M. I.; BELIE, N.; POZO, J. M. M. Mechanical and microstructural properties of recycled concretes mixed with ceramic recycled cement and secondary recycled aggregates. A viable option for future concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 270, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121455>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820334590?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

KAZEMIAN, F.; ROOHOLAMINI, H.; HASSANI, A. Mechanical and fracture properties of concrete containing treated and untreated recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 209, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.179>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819306701?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

LI, Y.; HUANG, L.; GAO, C.; MAO, Z.; QIN, M. Workability and mechanical properties of GGBS-RFBP-FA ternary composite geopolymer concrete with recycled aggregates containing recycled fireclay brick aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 392, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131450>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823011637?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

LOPES, C. M. N.; MENDES, V. F.; GARCIA, D. R.; MENDES, J. C. Residues in cement-based composites: Occurrence mapping in Brazil. **Case Studies in Construction Materials**, Amsterdã, v. 18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01763>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522008956?via%3Dihub>. Acesso em: 01 jul. 2023.

MATOS, P. R.; SAKATA, R. D.; ONGHERO, L.; ULIANO, V. G.; BRITO, J.; CAMPOS, C. E. M.; GLEIZE, P. J. P. Utilization of ceramic tile demolition waste as supplementary cementitious material: An early-age investigation. **Journal of Building Engineering**, Amsterdã, v. 38, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102187>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221000437?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

MUDULI, R.; MUKHARJEE, B. B. Performance assessment of concrete incorporating recycled coarse aggregates and metakaolin: A systematic approach. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 233, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117223>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819326753?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

NASCIMENTO, M. V. L. A. **Estudo de blocos intertravados de concreto para pavimentação de resíduo do polimento do porcelanato**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17151>. Acesso em: 01 jul. 2023.

ORTOLAN, T. L. P.; BORGES, P. M.; SILVESTRO, L.; SILVA, S. R.; POSSAN, E.; ANDRADE, J. J. O. Durability of concrete incorporating recycled coarse aggregates: carbonation and service life prediction under chloride-induced corrosion. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 404, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133267>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823029847?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

PAULINO, R. S.; LAZARI, C. H.; MIRANDA, L. F. R.; VOGT, V. Atualização do cenário da reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 2008-2020. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 83-97, jul./set. 2023. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212023000300677>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/QNNFCRvKbhfCRwx5sgNwxvM/?lang=pt>. Acesso em: 08 jul. 2023.

PEDRO, D.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 71, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814009416?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ROBALO, K.; COSTA, H.; CARMO, R.; JÚLIO, E. Experimental development of low cement content and recycled construction and demolition waste aggregates concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 273, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121680>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820336849?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jul. 2023.

SANTANA, T. S.; PEREIRA, C. H. A. F. Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 305-318, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300430>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/gX3VcX6bRtHJZRjbJbGRq5R/?lang=pt>. Acesso em 09 jul. 2023.

SANTOS, A. A. M.; LEITE, M. B. Avaliação de concretos reciclados com agregado graúdo de concreto dosados pelo método da ABCP modificado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 341-359, out./dez. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000400309>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/8Ygpjgs8LK4dJqJvBL7F9Fh/?lang=pt>. Acesso em: 08 jul. 2023.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 1. ed. São Paulo: Cortez, 2013.

SILVA, R. V.; BRITO, J.; DIHR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 65, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814004437?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jul. 2023.

SILVA, S.; EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability and shrinkage performance of concrete made with coarse multi-recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 272, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121645>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820336497?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SIMIONI, F. C.; CALLEKAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; SOUZA, B. G. Solo-cimento autoadensável com incorporação de areia de resíduos de construção civil para aplicação em sistema de vedação vertical. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 281-296, out./dez. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400472>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/4VGxknkDMQftHp9qBBdjsrMq/?lang=pt>. Acesso em: 09 jul. 2023.

SINGH, R.; NAYAK, D.; PANDEY, A.; KUMAR, R.; KUMAR, V. Effects of recycled fine aggregates on properties of concrete containing natural or recycled coarse aggregates: A comparative study. **Journal of Building Engineering**, Amsterdã, v. 45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103442>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221013000?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SONI, N.; SHUKLA, D. K. Analytical study on mechanical properties of concrete containing crushed recycled coarse aggregate as an alternative of natural sand. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 266, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120595>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820326003?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jul. 2023.

SUA-IAM, G.; MAKUL, N. Recycling prestressed concrete pile waste to produce green self-compacting concrete. **Journal of Materials Research and Technology**, Amsterdã, v. 24, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.101>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423007950?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

THOMAS, C.; SETIÉN, J.; POLANCO, J. A. Structural recycled aggregate concrete made with precast wastes. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 114, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.203>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816305062?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

THOMAS, C.; SETIÉN, J.; POLANCO, J. A.; LOMBILLO, I.; CIMENTADA, A. Fatigue limit of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 52, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061813010647?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

THIVES, L. P.; GHISI, E.; THIVES JÚNIOR, J. J. An outlook on the management of construction and demolition waste in Brazil. **Cleaner Materials**, Amsterdã, v. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100153>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622001137?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jun. 2023.

WU, H.; ZUO, J.; ZILLANTE, G.; WANG, J.; YUAN, H. Status quo and future directions of construction and demolition waste research: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdã, v. 240, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118163>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619330331?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jun. 2023.

YIN, W.; LI, X.; CHEN, Y.; WANG, Y.; XU, M.; PEI, C. Mechanical and rheological properties of High-Performance concrete (HPC) incorporating waste glass as cementitious material and fine aggregate. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 387, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131656>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823013697?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

ZHU, P.; HAO, Y.; LIU, H.; WEI, D.; LIU, S.; GU, L. Durability evaluation of three generations of 100% repeatedly recycled coarse aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, Amsterdã, v. 210, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.203>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819306920?via%3Dihub>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ZHU, Y.; ZAHEDI, A.; SANCHEZ, L. F. M.; FOURNIER, B.; BEAUCHEMIN, S. Overall assessment of alkali-silica reaction affected recycled concrete aggregate mixtures derived from construction and demolition waste. **Cement and Concrete Research**, Amsterdã, v. 142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106350>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884620316306?via%3Dihub>. Acesso em: 09 jul. 2023.

ANDRÉ INÁCIO DA SILVA FILHO

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE
CONCRETO: revisão de literatura**

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: Construção Civil

Aprovado em 19 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Victória Leal de Almeida Nascimento (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Dannúbia Ribeiro Pires (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Érika Pinto Marinho (Avaliadora)
Universidade Federal de Pernambuco