XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8699

Análise comparativa de concretos estruturais com agregados reciclados mistos e cimentícios

Comparative analysis of structural concrete with mixed and cementitious recycled aggregates

João Pedro de Araújo Lima
Universidade Federal de Alagoas | Coruripe | Brasil | joao.lima1@ctec.ufal.br
Aline Raimunda dos Santos
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | aline.santos@ctec.ufal.br
Karoline Alves de Melo Moraes
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | kamm@ctec.ufal.br
Thailana Iris da Silva
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | thailana.silva@ctec.ufal.br

Resumo

A utilização de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) tem se consolidado como alternativa sustentável na produção de concretos estruturais. Entre esses materiais, destacam-se os agregados reciclados mistos (ARM) e os agregados cimentícios (ARCI), cujas diferenças de composição podem influenciar o desempenho do concreto. Este trabalho teve como objetivo comparar o comportamento físico e mecânico de concretos estruturais produzidos com ARM e ARCI, empregado em substituição parcial aos agregados naturais. A análise foi baseada em dois programas experimentais compatíveis, avaliando resistência à compressão, massa específica, absorção de água e índice de vazios em concretos produzidos com os cimentos CP II Z 32 e CP V ARI. Os resultados mostraram que os concretos com ARCI apresentaram propriedades mais próximas às dos concretos de referência, com menores perdas de resistência e menor variabilidade experimentais. Em contrapartida, os concretos com ARM apresentaram maiores valores de absorção de água, índice de vazios e dispersão dos resultados. Apesar dessas diferenças, todas as misturas atingiram resistências à compressão superiores (f_{ck}) a 20 MPa aos 28 dias, demonstrando a viabilidade técnica do emprego de ambos os agregados reciclados em concretos estruturais.

Palavras-chave: Agregados reciclados. Concreto estrutural. Resíduos de construção e demolição. Propriedades físicas.

Abstract

The use of recycled aggregates derived from construction and demolition waste (CDW) has established itself as a sustainable alternative in the production of structural concrete. Notable among these materials are mixed recycled aggregates (MRA) and cementitious recycled aggregates (CRA), as differences in their composition can influence concrete performance. This study aimed to compare the physical and mechanical behavior of structural concretes produced with MRA and CRA, using partial replacement of natural aggregates. The analysis was based on two compatible experimental programs, evaluating compressive strength, density, water

absorption, and void ratio in concretes produced with CP II Z 32 and CP V ARI cements. The results showed that concretes containing CRA exhibited properties closer to those of the reference concretes, with lower strength losses and reduced experimental variability. In contrast, concretes containing MRA showed higher values for water absorption, void ratio, and result dispersion. Despite these differences, all mixtures achieved compressive strengths exceeding 20 MPa at 28 days, demonstrating the technical feasibility of using both types of recycled aggregates in structural concrete.

Keywords: Recycled aggregates. Structural concrete. Construction and demolition waste. Physical properties.

INTRODUÇÃO E FUNDAMENTAÇÃO

A indústria da construção civil destaca-se como uma das principais responsáveis pelos impactos ambientais em escala global devido ao elevado consumo de recursos naturais e da expressiva geração de resíduos [1]. Com o avanço da urbanização, a produção de Resíduos de Construção e Demolição (RCD tem aumentado significativamente, representando entre 41% e 71% dos resíduos gerados em cidades brasileiras de médio e grande porte [2][3]. Além do grande volume gerado, a destinação inadequada desses materiais agrava os problemas ambientais, contribuindo para a sobrecarga de aterros e para a degradação de áreas naturais.

Nesse contexto, o reaproveitamento dos RCD por meio da produção de agregados reciclados constitui uma alternativa para reduzir esses impactos [4]. Esses agregados são obtidos a partir do processamento de resíduos provenientes de obras e demolições, podendo ser empregados na produção de novos materiais, como o concreto. Quanto à composição, os agregados reciclados podem ser classificados em diferentes categorias, entre as quais se destacam o agregado reciclado cimentício (ARCI) e o agregado reciclado misto (ARM). O ARCI é constituído predominantemente por materiais de natureza cimentícia, como concretos, argamassas e elementos pré-moldados, podendo conter pequenas quantidades de materiais cerâmicos. Já o ARM apresenta composição mais heterogênea, sendo formado por frações cimentícias e cerâmicas, além de outros componentes provenientes dos RCD [5].

Apesar do potencial sustentável associado ao uso de agregados reciclados, sua aplicação em concretos estruturais ainda enfrenta desafios técnicos, principalmente em função da heterogeneidade e variabilidade desses materiais [6]. O agregado reciclado cimentício tende a apresentar comportamento mais uniforme, enquanto o agregado reciclado misto, por incorporar materiais cerâmicos, apresenta maior variabilidade em suas características. Essas diferenças podem influenciar propriedades relevantes do concreto, como absorção de água, massa específica e resistência mecânica [7]. Em função disso, normativas adotam uma abordagem conservadora quanto ao uso desses materiais em aplicações estruturais [5][8]. Entretanto, ainda há

incertezas na literatura quanto ao comportamento comparativo desses agregados, evidenciando a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tema.

Em concretos produzidos com agregado reciclado misto, misturas com até 20% de substituição apresentaram valores satisfatórios de resistência à compressão, embora a presença de materiais cerâmicos no ARM possa contribuir para a redução do desempenho mecânico [9]. Em concretos estruturais com agregado reciclado misto graúdo, observa-se que o aumento do teor de substituição tende a reduzir a resistência à compressão e elevar a absorção de água por capilaridade, comportamento associado à maior porosidade e heterogeneidade desses materiais [10]. No caso dos agregados reciclados de concreto, a presença de argamassa aderida, a maior porosidade e a variabilidade do material também podem comprometer propriedades mecânicas e de durabilidade, embora tratamentos prévios, ajustes de dosagem e o uso de materiais cimentícios suplementares possam contribuir para melhorar o desempenho desses concretos [11]. Apesar desses avanços, ainda são limitadas as investigações que comparam diretamente concretos estruturais produzidos com ARCI e ARM sob condições equivalentes, o que evidencia a necessidade de estudos comparativos entre essas subclasses.

Diante desse cenário, torna-se fundamental aprofundar a compreensão acerca do comportamento de concretos produzidos com diferentes tipos de agregados reciclados. Assim, o presente trabalho tem como objetivo comparar as alterações nas propriedades físicas e mecânicas de concretos estruturais causadas pela utilização de agregado reciclado cimentício e agregado reciclado misto. Assim, busca-se analisar o desempenho desses materiais e contribuir para a ampliação do seu uso em aplicações estruturais.

METODOLOGIA

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O presente estudo integrou dois programas experimentais independentes voltados à análise comparativa de concretos estruturais produzidos com agregados reciclados provenientes de RCD. Foram avaliados concretos contendo agregados reciclados cimentícios (ARCI) e agregados reciclados mistos (ARM), considerando-se as propriedades físicas (massa específica, absorção de água e índice de vazios) e a resistência à compressão. A compatibilidade metodológica entre os estudos [10][12], caracterizada pela adoção do mesmo método de dosagem (ABCP), procedimentos de moldagem, cura e ensaios normalizados, permitiu a realização de uma análise comparativa unificada, tendo como principal variável o tipo de agregado reciclado e o cimento empregado.

MATERIAIS

Os concretos foram produzidos com cimento Portland, agregados naturais, agregados reciclados e água. Foram empregados dois tipos de cimento: CP II Z 32 e CP V ARI, selecionados em função de suas características distintas em relação ao desempenho mecânico e indicação de aplicação.

Os agregados naturais utilizados foram: areia natural quartzosa como agregado miúdo (ANM) e pedra britada natural com dimensão máxima de 9,5 mm como agregado graúdo (ANG). Os agregados reciclados foram obtidos a partir do processamento de resíduos de demolição, sendo classificados, conforme sua composição, em agregados reciclados cimentícios (ARCI) e agregados reciclados mistos (ARM) [5]. A partir desse processamento, foram produzidos: agregado reciclado misto graúdo (ARMg), agregado reciclado misto miúdo (ARMm), agregado reciclado cimentício graúdo (ARCIg) e agregado reciclado cimentício miúdo (ARCIm).

DOSAGEM DOS CONCRETOS

A dosagem dos concretos foi realizada com base no método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Nesse contexto, adotou-se resistência característica à compressão (f_{ck}) de 30 MPa para os concretos com ARCI e de 40 MPa para aqueles produzidos com ARM, visando compensar a possível redução de desempenho provocada pelos agregados reciclados [10] a qual espera-se ser mais pronunciada quando usado o ARM. Assim, procurou-se assegurar que os concretos produzidos apresentassem resistência final (f_{ck}) superior a 20 MPa, de modo a serem classificados como concretos estruturais [13].

Foram definidos quatro traços de referência com materiais convencionais, diferenciados pelo tipo de cimento e pelo f_{ck} alvo (Tabela 1).

Tabela 1: Traços dos concretos de referência

Nomenclatura	Traço (em massa)	f_{ck} alvo (MPa)
CPII_REF_ARM	1:1,07:1,49:0,40	40
CPII_REF_ARCI	1:1,25:1,77:0,45	30
CPV_REF_ARM	1:1,21:1,79:0,45	40
CPV_REF_ARCI	1:1,71:2,20:0,56	30

Fonte: Autores (2026).

Para cada traço de referência, foi feita a substituição parcial dos agregados naturais por reciclados. A definição dos teores de substituição dos agregados reciclados considerou tanto os limites normativos quanto abordagens experimentais [10][12]. No caso do agregado graúdo, adotou-se o limite de 20%, visando garantir a manutenção do desempenho mecânico do concreto [5]. Para o agregado miúdo, adotou-se um teor de substituição de 50%, com base em proposta experimental voltada à avaliação da

viabilidade de concretos estruturais com maior incorporação de materiais reciclados [10]. Foram definidas oito composições distintas, cujas proporções, em kg/m^3 de concreto, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Consumo de materiais em kg por m³ de concreto

Nomenclatura	Cimento	ANM	ANG	ARMm	ARMg	ARCIm	ARCIg	Água
CPII_REF_ARM	575,0	617,4	854,1	-	-	-	-	230,0
CPII_ARM	575,0	308,7	683,3	308,7	170,8	-	-	230,0
CPII_REF_ARCI	511,1	636,8	905,2	-	-	-	-	230,0
CPII_ARCI	511,1	318,4	724,2	-	-	318,4	181,0	230,0
CPV_REF_ARM	511,1	619,6	912,5	-	-	-	-	230,0
CPV_ARM	511,1	309,8	730,0	309,6	182,5	-	-	230,0
CPV_REF_ARCI	410,7	701,2	905,2	-	-	-	-	230,0
CPV_ARCI	410,7	355,1	724,2	-	-	355,1	181,0	230,0

Fonte: Autores (2026).

A combinação do cimento CP II Z 32 com um f_{ck} de 40 MPa resultou em elevado consumo de cimento (575,0 kg/m³) para os concretos CPII_REF_ARM e CPII_ARM. Esse consumo está associado às exigências de desempenho mecânico e à relação água/cimento adotada, não sendo decorrente da utilização de agregados reciclados nos traços de referência. Nos traços com agregados reciclados, observa-se a necessidade de ajustes no teor de pasta, em função da maior porosidade e absorção desses materiais.

Para o mesmo tipo de cimento (CP II Z 32), quando o f_{ck} passou para 30 MPa, houve uma redução de 11% no consumo de cimento, passando para 511,1 kg/m³ (CPII_REF_ARCI e CPII_ARCI), porém ainda elevado. Quando mantido o f_{ck} de 40 MPa e modificado o cimento para CP V (CPV_REF_ARM e CPV_ARM) foi observada essa mesma redução no consumo de cimento.

Por outro lado, os traços com menor consumo de cimento (410,7 kg/m³), como CPV_REF_ARCI e CPV_ARCI, apresentam redução de aproximadamente 29% em relação aos traços com maior consumo (575,0 kg/m^3, CPII_REF_ARM e CPII_ARM). Esse comportamento reflete uma dosagem mais eficiente, associada à combinação de cimento CP V e concreto com menor f_{ck}.

PREPARO E MOLDAGEM DOS CONCRETOS

Os concretos foram produzidos em uma betoneira com capacidade de 150 litros, adequada para o volume a ser produzido de 25 litros, o suficiente para moldar 12 corpos de prova. A betoneira possui um eixo inclinado e um tambor com rotação de 34 rpm e o procedimento de mistura seguiu diretrizes previamente estabelecidas [10].

Devido à elevada absorção de água dos agregados reciclados, adotou-se o procedimento de pré-molhagem para minimizar sua interferência na relação água/cimento das misturas. Para isso, foi aplicada uma quantidade de água correspondente a 80% da absorção total dos agregados [12], seguida de um período de imersão e revolvimento de aproximadamente 15 minutos antes da incorporação à mistura.

Após o período de pré-molhagem, adicionou-se 100% do agregado graúdo, natural e/ou reciclado, ao misturador ainda parado. Em seguida, foram acrescentados 50% da água da mistura, acionando o misturador por 1 minuto. Posteriormente, adicionou-se o cimento, mantendo a mistura em funcionamento por mais 2 minutos. Na sequência, incorporou-se o agregado miúdo, natural e/ou reciclado, e adicionaram-se os 50% restantes da água, ligando novamente o misturador por 3 minutos. Após essa etapa, o misturador foi interrompido por 2 minutos para limpeza, utilizando-se colher de pedreiro para remoção do material aderido às paredes. Por fim, o misturador foi acionado por mais 1 minuto, a fim de completar o processo de mistura.

Os concretos foram moldados em corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm, em seguida, foram mantidos em ambiente controlado e submetidos à cura submersa até as idades de ensaio, sendo feita sua retificação antes da aplicação das cargas.

ENSAIOS REALIZADOS

Foram realizados ensaios para a caracterização das propriedades do concreto, incluindo massa específica no estado endurecido, absorção de água por imersão, índice de vazios e resistência à compressão.

A determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica no estado endurecido foi realizada conforme a NBR 9778 [14], utilizando três corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm × 20 cm, ensaiados aos 28 dias de idade, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma.

A resistência à compressão foi determinada conforme a NBR 5739 [15], utilizando corpos de prova cilíndricos de 10 cm × 20 cm. Os ensaios foram realizados aos 7 e 28 dias, com três amostras para cada idade. Após o rompimento, foi calculada a resistência à compressão conforme a norma.

CRITÉRIO DE ANÁLISE COMPARATIVA

A comparação foi realizada com base nos valores médios de absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão, avaliada aos 7 e 28 dias. Devido das diferenças entre os programas experimentais, a análise foi conduzida de forma

descritiva, priorizando a identificação das tendências de comportamento e a avaliação da viabilidade técnica do emprego de agregados reciclados em concretos estruturais.

Embora os programas experimentais tenham empregado diferentes tipos de cimento e resistências características (f_{ck}), ambos adotaram o mesmo método de dosagem e os mesmos procedimentos de produção, cura e ensaio, permitindo uma comparação baseada nas tendências de desempenho dos agregados reciclados, em vez de valores absolutos de resistência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROPRIEDADES FÍSICAS E MICROESTRUTURAIS

A porosidade global e a densidade dos concretos (Tabela 3) refletem a influência do tipo de agregado reciclado e do ligante.

Tabela 3: Propriedades físicas dos concretos endurecidos

Nomenclatura	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/m³)
CPII_REF_ARM	6,5 ± 0,5	14,2 ± 0,9	2545 ± 10
CPII_ARM	8,5 ± 0,4	18,0 ± 0,7	2570 ± 15
CPII_REF_ARCI	7,7 ± 1,2	16,7 ± 0,1	2615 ± 5
CPII_ARCI	9,5 ± 0,2	19,8 ± 0,3	2590 ± 10
CPV_REF_ARM	6,9 ± 0,7	14,9 ± 1,3	2465 ± 50
CPV_ARM	7,5 ± 1,4	16,0 ± 3,0	2555 ± 95
CPV_REF_ARCI	6,7 ± 0,2	14,5 ± 0,3	2530 ± 5
CPV_ARCI	7,4 ± 0,6	15,6 ± 1,1	2485 ± 20

Fonte: Autores (2026).

Os resultados indicam que a substituição integral por agregados reciclados gerou incrementos expressivos na absorção de água (23% a 31%) e no índice de vazios (19% a 27%) nas matrizes formuladas com o cimento CPII. Os incrementos observados decorrem da maior porosidade dos agregados reciclados, associada à argamassa aderida no ARCI e à presença de frações cerâmicas no ARM, que aumentam a absorção de água e alteram a zona de transição interfacial (ZTI) [4][7].

Por outro lado, as misturas com cimento CPV conseguiram conter esses impactos negativos, limitando o aumento da absorção de água a menos de 10%. Isso ocorre porque a hidratação acelerada do CPV forma rapidamente o gel cimentício (C-S-H), gerando uma matriz mais densa. Esse gel obstrui os poros capilares interconectados da pasta e preenche os vazios na superfície dos agregados reciclados, atuando como um efeito fíler microestrutural [4].

Paralelamente, os dados de massa específica revelam que o uso de ARM induziu a discretos aumentos na densidade global endurecida em relação aos seus pares de

referência (de 2545 a 2570 kg/m³ com CP II; de 2465 a 2555 kg/m³ com CP V). Esse comportamento pode estar associado à elevada capacidade de absorção inicial do resíduo misto: ao reter parte da água de mistura em seus poros capilares, o agregado reduz localmente a água livre da pasta, promovendo um efeito de adensamento na matriz cimentícia circundante durante o processo de cura [7]. É relevante notar que o traço CPV_ARM apresentou a maior dispersão estatística de massa específica (± 95 kg/m³), o que corrobora a variabilidade e heterogeneidade intrínsecas da composição de agregados mistos. Por outro lado, o uso do ARCI manteve os valores de massa específica elevados e estáveis, indicando que a natureza mais homogênea das partículas cimentícias atenua as oscilações de densidade do compósito [7].

DESEMPENHO MECÂNICO À COMPRESSÃO

O comportamento mecânico aos 7 e 28 dias (Tabela 4) reflete os efeitos da substituição dos agregados e do tipo de ligante.

Tabela 4: Resultados das resistências à compressão

Nomenclatura	Resistência à compressão média (MPa)	
	7 dias	28 dias
CPII_REF_ARM	21,8 ± 1,8	31,4 ± 0,7
CPII_ARM	18,1 ± 3,7	27,1 ± 0,6
CPII_REF_ARCI	28,6 ± 0,9	37,2 ± 2,3
CPII_ARCI	24,4 ± 2,1	34,2 ± 3,1
CPV_REF_ARM	28,8 ± 0,4	39,6 ± 1,6
CPV_ARM	23,1 ± 3,3	30,9 ± 5,1
CPV_REF_ARCI	30,8 ± 0,5	36,4 ± 2,8
CPV_ARCI	29,6 ± 1,2	34,0 ± 4,0

Fonte: Autores (2026).

Aos 7 dias, o traço CPV_ARCI apresentou desempenho próximo ao de referência (29,6 MPa), com perda de apenas 4% e baixa dispersão dos resultados (± 1,2 MPa). Esse comportamento é atribuído ao efeito de cura interna, em que a água retida na argamassa aderida ao ARCI é liberada gradualmente durante a hidratação, favorecendo a zona de transição interfacial (ZTI) [3][6][7].

Em contrapartida, a inserção do ARM reduziu de forma mais acentuada a resistência inicial tanto no cimento CPII (20%) quanto no CPV (25%), além de provocar uma elevação nos desvios padrão (± 3,7 e ± 3,3 MPa, respectivamente). Essa maior variabilidade está associada à heterogeneidade do ARM, decorrente da presença de frações cerâmicas e cimentícias [1].

Aos 28 dias, manifestou-se a fragilidade estrutural do esqueleto granular do ARM. A perda mecânica no traço CPV_ARM atingiu aproximadamente 22% em relação ao de

referência, resultando em 30,9 MPa. É notável que este traço apresentou o maior desvio padrão do programa experimental (± 5,1 MPa), que está associada a maior dispersão e a perda de resistência à fragilidade mecânica típica dos agregados mistos sob tensões elevadas [7]. Em matrizes mais resistentes (como as de CPV), a fissura não contorna apenas a interface do agregado, mas atravessa e quebra o próprio grão devido à sua menor resistência interna, limitando o potencial que o cimento de alto desempenho poderia fornecer. [4].

Por outro lado, as misturas contendo ARCI exibiram excelente estabilidade e retenção mecânica aos 28 dias, registrando quedas restritas a apenas 8% no cimento CPII e 7% no cimento CPV, consolidando resistências absolutas robustas (34,2 e 34,0 MPa). Além do efeito da cura interna, a morfologia rugosa e a compatibilidade química natural entre o agregado cimentício (ARCI) e a nova pasta favorecem a aderência na zona de transição [6]. Além disso, a presença de compostos de cimento já hidratados na superfície do agregado reciclado cimentício pode atuar como pontos de nucleação para o crescimento de novos cristais de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), o que justifica as perdas reduzidas de resistência aos 28 dias [1].

Os resultados evidenciam que o desempenho mecânico dos concretos reciclados depende da porosidade dos agregados e da cinética de hidratação do cimento. Enquanto o ARM limitou a resistência das matrizes, o ARCI apresentou comportamento mais compatível com concretos convencionais.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, todos os autores utilizaram o ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5) para a tradução, correção de ortografia e melhoria de coesão do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

CONCLUSÃO

Os resultados permitiram comparar o desempenho de concretos estruturais produzidos com agregados reciclados cimentícios (ARCI) e mistos (ARM), evidenciando diferenças consistentes em suas propriedades físicas e mecânicas.

Observou-se que os concretos com maiores valores de absorção de água e índice de vazios apresentaram, de forma geral, maiores reduções na resistência à compressão, indicando que o aumento da porosidade influenciou diretamente o desempenho mecânico das misturas. Essa tendência foi mais pronunciada nos concretos produzidos com ARM, enquanto aqueles contendo ARCI apresentaram comportamento mais próximo ao concreto de referência.

Comparativamente, os concretos produzidos com ARCI apresentaram menores incrementos de absorção de água e índice de vazios, bem como menores perdas de resistência à compressão para ambos os tipos de cimento empregados. Em contrapartida, os concretos ARM apresentaram maior variabilidade experimental, refletindo a maior heterogeneidade de sua composição. Apesar dessas diferenças, todas as misturas atingiram resistência à compressão (f_{ck}) superior a 20 MPa aos 28 dias. Isso demonstra que ambos os agregados reciclados apresentam potencial para aplicação em concretos estruturais, desde que empregados com adequado controle de dosagem e produção.

Além de evidenciar as diferenças de desempenho entre ARM e ARCI, este estudo contribui para a compreensão da influência da composição dos agregados reciclados no comportamento físico e mecânico de concretos estruturais, fornecendo subsídios para ampliar seu uso em consonância com os princípios da construção sustentável e da economia circular.

Como limitação, a comparação baseou-se na integração de dois programas experimentais independentes, com diferentes tipos de cimento e resistências características (f_{ck}), sendo a análise conduzida de forma descritiva, sem testes estatísticos inferenciais.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros utilizem programas experimentais unificados, sob condições equivalentes de dosagem, incorporando análises estatísticas, estudos de durabilidade e diferentes teores de substituição para ampliar o conhecimento sobre concretos com ARCI e ARM.

REFERÊNCIAS

[1] SAKTHIBALA, R. K.; VASANTHI, P.; HARIHARASUDHAN, C.; PARTHEEBAN, P. A critical review on recycling and reuse of construction and demolition waste materials. **Cleaner Waste Systems**, v. 12, 100375, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100375

[2] HASIBUAN, G. C. R.; AL FATH, M. T.; YUSOF, N.; DEWI, R. A.; SYAFRIDON, G. G. A.; JAYA, I.; ANAS, M. R.; SYAHRIZAL. Integrating circular economy into construction and demolition waste management: A bibliometric review of sustainable engineering practices in the built environment. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 11, 101159, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101159

[3] RESENDE, H. F.; REIS, E. D.; FERNANDES, F. M.; RODRIGUES, L. A.; ANGELO, F. A. Uso de resíduos de construção e demolição como agregado reciclado no concreto: uma breve revisão de literatura. **Revista Principia**, v. 61, n. 3, p. 691, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id7086

[4] MURAKAMI, F. de F. E., & SAVARIS, G. (2025). Propriedades mecânicas do concreto produzido com agregados reciclados mistos em diferentes proporções. **Revista Foco**, 18(11), e10386. DOI: https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n11-025

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

[6] ALIBEIGIBENI, A.; STOCHINO, F.; ZUCCA, M.; GAYARRE, F.L. Enhancing Concrete Sustainability: A Critical Reviewof the Performance of Recycled ConcreteAggregates (RCAs) in Structural Concrete. **Buildings** 2025, 15, 1361. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15081361

[7] SALLES, P. V.; GOMES, C. L.; POGGIALI, F. S. J.; RODRIGUES, C. de S. A importância da segregação do agregado reciclado na resistência e na durabilidade do concreto estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 177-196, jul./set. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000300545

[8] ARCINE, M. F. **Comportamento do concreto reciclado confinado por materiais diversos**. 2025. p.304. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Universidade Federal de São Carlos, 2025.

[9] OLIVEIRA, Marlon Joshua de. **Estudo do concreto produzido com agregado reciclado misto.** 2023. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023.

[10] UCHÔA, Júlio Cézar de Mendonça. **Estudo de desempenho de concretos estruturais produzidos com agregados reciclados.** 2025. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2025.

[11] ALIBEIGIBENI, Alireza; STOCHINO, Flavio; ZUCCA, Marco; LÓPEZ GAYARRE, Fernando. Enhancing concrete sustainability: a critical review of the performance of recycled concrete aggregates (RCAs) in structural concrete. **Buildings**, v. 15, n. 8, art. 1361, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings15081361.

[12] LIMA, João Pedro de Araújo. **Influência dos agregados reciclados cimentícios nas propriedades de concretos estruturais.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2026.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.