REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO NATURAL: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS

RECYCLED CONCRETE AGGREGATE AS A REPLACEMENT FOR NATURAL COARSE AGGREGATE: PHYSICAL CHARACTERIZATION AND COMPRESSIVE STRENGTH OF NON-STRUCTURAL CONCRETES

ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN EN SUSTITUCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO NATURAL: CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE HORMIGONES NO ESTRUCTURALES

Adalto Soares da Fonseca Júnior
Mestre em Modelagem Computacional e Sistemas;
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: adalto.junior@unimontes.br

Álvaro Barbosa de Carvalho Júnior
Doutor em Engenharia Mecânica;
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: alvaro.junior@unimontes.br

Leticia Cardoso Batista
Bacharela em Engenharia Civil,
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: leh.batistac06@gmail.com

Kaio Rocha Souza
Bacharel em Engenharia Civil,
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: kaiorocha2013@gmail.com

Thais Soares Ribeiro
Graduanda em Engenharia Civil,
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: thaisribeirosoares2@gmail.com

Ana Caroline Nery Munoz Carvalho
Mestre em Modelagem Computacional e Sistemas;
Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), Brasil
E-mail: carolinenmunoz@gmail.com

Hivanna Prates Duarte
Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, Faculdades Santo Agostinho, Brasil
E-mail: arquihivanaprates@gmail.com

Resumo

A reciclagem de resíduos de concreto como agregado graúdo reduz a extração de agregados naturais e a disposição de resíduos da construção civil (RCC) em aterros. Este trabalho caracterizou fisicamente um agregado reciclado de concreto (ARCO), obtido pela britagem de corpos de prova

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

rompidos em laboratório, em comparação com uma brita 1 comercial, e avaliou a resistência à compressão de concretos produzidos com 50% e 100% de substituição, em massa, do agregado natural pelo reciclado. Foram determinadas a morfologia superficial (microscopia digital), a absorção de água e a densidade do agregado seco (ABNT NBR 16917:2021), a massa unitária no estado solto (ABNT NBR 16972:2021) e a composição granulométrica (ABNT NBR 17054:2022), além da resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias (ABNT NBR 5739:2018). O agregado reciclado apresentou absorção de água de 7,51%, contra 3,04% da brita natural, menor densidade do agregado seco e massa unitária no estado solto 8,6% inferior (1.753 contra 1.918 kg/m³), comportamento atribuído à argamassa aderida às partículas. A dimensão máxima característica do reciclado foi de 25 mm e o módulo de finura, 6,43. A absorção medida excede o limite de 7% fixado pela ABNT NBR 15116:2021 para a classe ARCO, o que restringe o material a usos sem função estrutural. Concretos de traço 1:3:3 em massa atingiram resistências médias de 6,29 ± 0,64 MPa (50%) e 6,83 ± 0,97 MPa (100%) aos 28 dias, com ganhos de 34% e 48% entre 7 e 28 dias. A diferença de 8,6% entre os traços é inferior ao desvio-padrão dos grupos e não permite atribuir superioridade a um teor de substituição. Os resultados indicam viabilidade técnica do ARCO estudado para artefatos e concretos sem função estrutural, condicionada ao ajuste da dosagem à elevada absorção do agregado.

Palavras-chave: agregado reciclado; resíduos da construção civil; caracterização de agregados; resistência à compressão; concreto não estrutural.

Abstract

Recycling concrete waste as coarse aggregate reduces the extraction of natural aggregates and the landfilling of construction and demolition waste (CDW). This study physically characterized a recycled concrete aggregate (RCA), obtained by crushing laboratory-tested concrete specimens, in comparison with a commercial crushed stone (brita 1), and evaluated the compressive strength of concretes produced with 50% and 100% replacement, by mass, of the natural aggregate by RCA. Surface morphology (digital microscopy), water absorption and oven-dry density (ABNT NBR 16917:2021), loose bulk density (ABNT NBR 16972:2021) and particle-size distribution (ABNT NBR 17054:2022) were determined, together with axial compressive strength at 7 and 28 days (ABNT NBR 5739:2018). The RCA showed a water absorption of 7.51%, against 3.04% for the natural crushed stone, a lower oven-dry density and a loose bulk density 8.6% lower (1,753 versus 1,918 kg/m³), all attributed to the mortar adhered to the particles. The maximum characteristic size of the RCA was 25 mm and its fineness modulus 6.43. The measured absorption exceeds the 7% limit set by ABNT NBR 15116:2021 for the ARCO class, which restricts the material to non-structural uses. Concretes with a 1:3:3 mix proportion by mass reached mean strengths of 6.29 ± 0.64 MPa (50%) and 6.83 ± 0.97 MPa (100%) at 28 days, with gains of 34% and 48% between 7 and 28 days. The 8.6% difference between mixes is smaller than the standard deviation of the groups and does not support attributing superiority to

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

either replacement level. The results indicate the technical feasibility of the studied RCA for non-structural concrete products, provided that mix design accounts for the high aggregate absorption.
Keywords: recycled concrete aggregate; construction and demolition waste; aggregate characterization; compressive strength; non-structural concrete.

Resumen

El reciclaje de residuos de hormigón como árido grueso reduce la extracción de áridos naturales y la disposición de residuos de construcción y demolición (RCD) en vertederos. Este trabajo caracterizó físicamente un árido reciclado de hormigón (ARCO), obtenido mediante la trituración de probetas ensayadas en laboratorio, en comparación con una piedra triturada comercial (brita 1), y evaluó la resistencia a la compresión de hormigones producidos con 50% y 100% de sustitución, en masa, del árido natural por el reciclado. Se determinaron la morfología superficial, la absorción de agua, la densidad del árido seco, la masa unitaria suelta y la granulometría (normas ABNT), además de la resistencia a la compresión axial a 7 y 28 días. El árido reciclado presentó una absorción de agua del 7,51%, frente al 3,04% de la piedra natural, menor densidad del árido seco y masa unitaria suelta un 8,6% inferior (1.753 frente a 1.918 kg/m³), comportamiento atribuido al mortero adherido a las partículas. El tamaño máximo característico del árido reciclado fue de 25 mm y su módulo de finura, 6,43. La absorción medida supera el límite del 7% fijado por la ABNT NBR 15116:2021 para la clase ARCO, lo que restringe el material a usos sin función estructural. Hormigones con dosificación 1:3:3 en masa alcanzaron resistencias medias de 6,29 ± 0,64 MPa (50%) y 6,83 ± 0,97 MPa (100%) a los 28 días, con incrementos del 34% y 48% entre 7 y 28 días. La diferencia del 8,6% entre las mezclas es inferior a la desviación estándar de los grupos y no permite atribuir superioridad a ningún nivel de sustitución. Los resultados indican la viabilidad técnica del ARCO estudiado para hormigones sin función estructural, condicionada al ajuste de la dosificación a la elevada absorción del árido.
Palabras clave: árido reciclado de hormigón; residuos de construcción y demolición; caracterización de áridos; resistencia a la compresión; hormigón no estructural.

1. Introdução

O concreto é o material de construção mais consumido no mundo e os agregados respondem por cerca de três quartos do seu volume. A demanda brasileira por agregados naturais atingiu 654 milhões de toneladas em 2023, das quais 272 milhões de toneladas de brita (Alves et al. 161-162), e a extração desses materiais implica supressão de vegetação, alteração de drenagens, emissão de particulados e ruído. Paralelamente, os resíduos da construção civil (RCC)

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

representam a maior parcela dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios brasileiros e, quando dispostos de forma inadequada, reduzem a vida útil dos aterros e contaminam solos e corpos d'água (Almeida e Silva e Melo).

A reinserção da fração mineral do RCC como agregado reciclado responde simultaneamente aos dois problemas. No caso específico do resíduo de concreto, a fração graúda reciclada mantém o agregado natural original envolto por argamassa endurecida, o que lhe confere maior porosidade, maior absorção de água e menor massa específica do que o agregado de origem (Leite; Levy; Poon, Shui e Lam). Esses atributos governam o comportamento do concreto reciclado, sobretudo a trabalhabilidade e a resistência mecânica, e por isso a caracterização física do agregado é etapa obrigatória para o seu uso em dosagens (Angulo e Figueiredo; Tam, Soomro e Evangelista).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pela Resolução nº 448/2012, e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelecem a hierarquia de não geração, redução, reutilização e reciclagem dos RCC. A ABNT NBR 15116:2021 consolidou o marco técnico ao especificar requisitos e métodos de ensaio para agregados reciclados de resíduos classe A destinados a argamassas e concretos, admitindo substituição de até 100% do agregado natural em concretos e artefatos sem função estrutural e restringindo o uso estrutural ao agregado reciclado de concreto (ARCO), em teores limitados.

Apesar do avanço normativo, grande parte dos estudos nacionais utiliza resíduos de composição heterogênea, provenientes de usinas de reciclagem ou de demolições, o que dificulta isolar a influência da argamassa aderida sobre as propriedades do agregado. Este trabalho utiliza um resíduo de concreto de composição conhecida: fragmentos de corpos de prova cilíndricos rompidos em ensaios de controle tecnológico, resíduo gerado diariamente em laboratórios de concreto e raramente destinado à reciclagem (Santos et al.; Carvalho et al.). A pesquisa vincula-se ao projeto "Análise do Aproveitamento de Resíduos de Concreto para a Produção de Bancos Destinados à Área de Convivência do Centro Tecnológico (CT/Unimontes)", que busca dar destinação local aos resíduos gerados nas atividades didáticas do curso de Engenharia Civil.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

O objetivo geral é avaliar a viabilidade técnica da substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado de concreto em concretos sem função estrutural. Os objetivos específicos são: (i) caracterizar a morfologia superficial, a absorção de água, a densidade, a massa unitária e a composição granulométrica do agregado reciclado e de uma brita 1 comercial; (ii) confrontar os resultados com os requisitos da ABNT NBR 15116:2021 e da ABNT NBR 7211:2019; e (iii) determinar a resistência à compressão axial, aos 7 e 28 dias, de concretos com 50% e 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado, discutindo as aplicações compatíveis com o desempenho obtido.

2. Revisão da Literatura

2.1 Marco regulatório e normativo dos agregados reciclados

A Resolução CONAMA nº 307/2002 classifica os RCC em quatro classes e define como classe A os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, entre os quais os de concreto, argamassa e componentes cerâmicos. A ABNT NBR 15116:2021, que substituiu a edição de 2004, subdivide os agregados reciclados de resíduos classe A em três subclasses: agregado reciclado de concreto (ARCO), cuja fração graúda contém no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas; agregado reciclado cimentício (ARCI), majoritariamente composto por materiais cimentícios com baixo teor de cerâmica; e agregado reciclado misto (ARM), que admite maiores teores de material cerâmico (Gomes).

A mesma norma fixa, na sua Tabela 3, a absorção de água máxima de 7% para o ARCO graúdo e de 12% para o ARCI e o ARM, determinada pela ABNT NBR 16917:2021, além de limites para materiais indesejáveis, argila em torrões, sulfatos e cloretos. Para concretos e artefatos sem função estrutural, argamassas de assentamento, revestimento e contrapiso, a norma indica as três subclasses em teores de substituição de até 100% da massa de agregado natural; para concretos com função estrutural, restringe o uso ao ARCO e limita o teor de substituição a 20%, com exigências adicionais de controle. A norma ainda prevê a pré-umidificação ou a

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

compensação de água na dosagem, em razão da elevada absorção dos agregados reciclados.

Os métodos de ensaio de caracterização foram integralmente renovados entre 2021 e 2022, com a substituição das normas Mercosul (NBR NM) por normas brasileiras: a ABNT NBR 16915:2021 (amostragem e redução de amostras) substituiu as NBR NM 26 e NM 27; a ABNT NBR 16917:2021 (densidade e absorção de água do agregado graúdo) substituiu a NBR NM 53; a ABNT NBR 16972:2021 (massa unitária e índice de vazios) substituiu a NBR NM 45; e a ABNT NBR 17054:2022 (composição granulométrica) substituiu a NBR NM 248. A especificação dos agregados para concreto permanece na ABNT NBR 7211:2019, que define as zonas granulométricas do agregado graúdo por meio de limites de porcentagem retida acumulada.

2.2 Propriedades físicas do agregado reciclado de concreto

A argamassa aderida ao grão original é o fator determinante das propriedades do ARCO. Segundo Leite, o teor de argamassa aderida pode variar entre 25% e 60% da massa do agregado, dependendo da resistência do concreto de origem e do processo de britagem, e é responsável pela absorção de água tipicamente entre 3% e 10%, contra valores inferiores a 2% dos agregados naturais britados. Em revisão de vinte estudos, Alves et al. reportam absorção média de 4,21% para agregados graúdos reciclados de concreto, com valores extremos de 2,76% e 7,35%, e densidade média de 2.501 kg/m³, inferior ao mínimo de 2.550 kg/m³ que a ABNT NBR 15844:2015 admite para rochas graníticas.

A morfologia também é afetada: o processo de britagem produz partículas mais angulosas e de superfície mais rugosa e porosa, com microfissuras induzidas pela cominuição (Levy; Nagataki et al.). Silva, Brito e Dhir mostram que a densidade e a absorção do agregado reciclado são correlacionadas entre si e com o teor de argamassa aderida, de modo que a absorção é o parâmetro mais eficiente para a classificação da qualidade do material. Em contrapartida, a massa unitária no estado solto costuma ser próxima à do agregado natural de mesma granulometria, pois

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

depende primordialmente do empacotamento e do índice de vazios do sistema granular (Neville 108-112).

2.3 Comportamento mecânico de concretos com agregado reciclado

A tendência geral da literatura é de redução da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição, sobretudo acima de 30%. Etxeberria et al. observaram reduções de 20% a 25% para 100% de substituição a mesma relação água/cimento, atribuídas à zona de transição adicional entre a argamassa antiga e a nova pasta. Cabral et al., a partir de modelagem estatística com agregados reciclados brasileiros, quantificaram a perda de resistência em função da natureza e do teor do agregado reciclado, e Tenório et al. e Frotté et al. confirmaram, em concretos com resíduos de composição mista, perdas que se acentuam para teores elevados. Alves et al., contudo, registram que em todos os estudos revisados os concretos reciclados superaram os 20 MPa mínimos da ABNT NBR 8953:2015, o que evidencia que a magnitude da perda depende do controle da dosagem.

Alguns trabalhos reportam resultados contrários à tendência. Surya, Kanta Rao e Lakshmy encontraram aumento de resistência à tração para 100% de substituição, atribuído à textura rugosa do agregado reciclado e à capacidade de absorção da argamassa aderida, que favoreceriam o intertravamento e a aderência com a nova pasta. Poon, Shui e Lam demonstraram que o estado de umidade do agregado reciclado no momento da mistura altera a microestrutura da zona de transição e, portanto, a resistência: agregados secos absorvem água da pasta e reduzem a relação água/cimento efetiva, enquanto agregados saturados podem enfraquecer a interface. Esses mecanismos concorrentes explicam a dispersão de resultados na literatura e reforçam a necessidade de registrar o estado de umidade do agregado e a dosagem empregada.

3. Metodologia

3.1 Programa experimental

A pesquisa foi conduzida em duas etapas. Na primeira, o agregado reciclado foi caracterizado quanto à morfologia superficial, à absorção de água, à densidade

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

do agregado seco, à massa unitária no estado solto e à composição granulométrica; a brita natural, empregada como material comercial de referência, foi caracterizada quanto à morfologia, à absorção de água e à massa unitária. Na segunda, foram produzidos concretos com 50% e 100% de substituição, em massa, do agregado natural pelo reciclado e determinada a resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias. O Quadro 1 resume os ensaios, as normas adotadas e os laboratórios envolvidos. Os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unimontes; as determinações de massa unitária e de densidade da areia foram realizadas nas dependências da empresa Novo Tempo Engenharia, em Montes Claros; a moldagem e os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Unimontes.

Quadro 1. Programa experimental, métodos de ensaio e parâmetros obtidos.

Ensaio	Norma de referência	Parâmetro obtido
Amostragem e redução por quarteamento	ABNT NBR 16915:2021	Amostras representativas para ensaio
Análise morfológica	Microscopia digital (sem norma específica)	Textura, angularidade, poros, material aderido
Absorção de água e densidade	ABNT NBR 16917:2021	Absorção (%); densidade do agregado seco (g/cm³)
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR 16972:2021	Massa unitária (kg/m³)
Densidade do agregado miúdo (frasco de Chapman)	ABNT NBR 16916:2021	Densidade da areia (g/cm³)
Composição granulométrica	ABNT NBR 17054:2022; ABNT NBR 7211:2019	Retido acumulado (%); DMC; módulo de finura
Consistência do concreto fresco	ABNT NBR 16889:2020	Abatimento (mm)
Preparo, moldagem e cura dos concretos	ABNT NBR 12655:2022; ABNT NBR 5738:2015	Corpos de prova cilíndricos
Resistência à compressão axial	ABNT NBR 5739:2018	f_c aos 7 e 28 dias (MPa)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.2 Materiais

Foram utilizados dois agregados graúdos (Figura 1). O agregado natural é uma brita 1 comercial, adquirida em depósito de materiais de construção de Montes

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

Claros, MG. O agregado reciclado foi produzido a partir de cerca de 20 corpos de prova cilíndricos de concreto convencional, rompidos em ensaios de resistência à compressão e fornecidos por um laboratório de controle tecnológico de concreto da cidade. Por serem integralmente constituídos de concreto de cimento Portland, os fragmentos enquadram-se, quanto à composição, na subclasse ARCO da ABNT NBR 15116:2021. Os corpos de prova foram fragmentados manualmente com marreta de 4 kg, buscando partículas de dimensões compatíveis com a brita 1, e o material foi peneirado antes do uso. Os corpos de prova de origem não eram uniformes quanto a traço, idade e resistência, condição registrada como limitação do estudo e representativa do resíduo real gerado nesses laboratórios.

Figura 1. Agregado natural (esquerda) e agregado reciclado de concreto (direita) após redução de amostra.



Fonte: Autoria própria (2026).

Para a produção dos concretos foram empregados cimento Portland composto CP II-32 (ABNT NBR 16697:2018), areia natural lavada adquirida em depósito comercial de Montes Claros e água da rede pública de abastecimento, sem aditivos. A areia foi caracterizada quanto à composição granulométrica (ABNT NBR 17054:2022), à massa unitária (ABNT NBR 16972:2021) e à densidade pelo método do frasco de Chapman (ABNT NBR 16916:2021), com 500 g de amostra seca e leitura final de 389 cm³.

3.3 Amostragem e redução das amostras

As amostras dos dois agregados foram reduzidas por quarteamento, conforme a ABNT NBR 16915:2021 (Figura 2): o material foi homogeneizado sobre superfície plana e limpa (a), dividido em quatro partes de massa aproximadamente igual (b) e

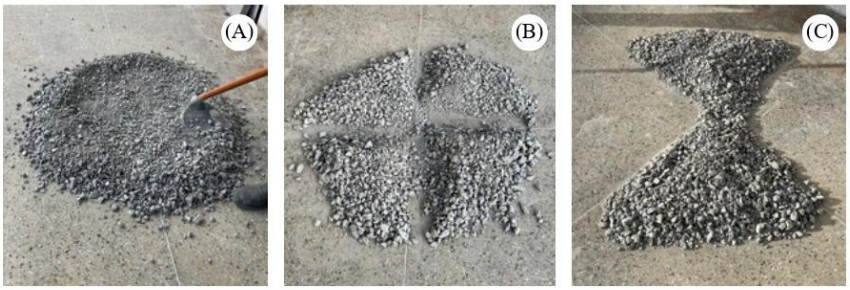
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

duas partes opostas foram descartadas (c). O procedimento foi repetido até a obtenção da massa mínima exigida para cada ensaio, garantindo que as porções ensaiadas representassem a variabilidade do lote, particularmente relevante no caso do agregado reciclado, cuja heterogeneidade decorre da proporção variável de argamassa aderida entre partículas.

Figura 2. Redução da amostra por quarteamento: (a) homogeneização; (b) divisão em quatro partes; (c) descarte de duas partes opostas.



Fonte: Autoria própria (2026).

3.4 Análise morfológica

A morfologia superficial das partículas foi avaliada com microscópio digital portátil, por observação direta de partículas secas dos dois agregados. Foram avaliados qualitativamente a textura superficial, a angularidade, a presença de poros e microvazios e a ocorrência de material aderido às partículas. Trata-se de análise complementar, sem caráter normativo, cujo objetivo é subsidiar a interpretação dos resultados de absorção e densidade.

3.5 Absorção de água e densidade do agregado seco

A absorção de água dos dois agregados e a densidade do agregado reciclado foram determinadas conforme a ABNT NBR 16917:2021. As amostras foram lavadas para remoção de pó aderido, imersas em água por (24 ± 4) h e, após a retirada, secas superficialmente com pano absorvente até a condição saturada superfície seca, registrando-se a massa m_s. Em seguida, determinou-se a massa da amostra imersa em água, m_a, por pesagem hidrostática em cesto metálico. Por fim, as amostras foram secas em estufa a (105 ± 5) °C até constância de massa, definida

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

como variação inferior a 0,1% entre pesagens consecutivas, obtendo-se a massa seca m. A absorção de água (A) e a densidade do agregado seco (ρ_d) foram calculadas pelas Equações 1 e 2, em que ρ_w é a densidade da água à temperatura do ensaio.

$$A = (m_s - m) / m \times 100 \quad (1)$$

$$\rho_d = m / (m_s - m_a) \times \rho_w \quad (2)$$

A grandeza obtida pela Equação 2 corresponde à densidade do agregado seco definida pela ABNT NBR 16917:2021 (antiga massa específica aparente do grão seco da NBR NM 53), que inclui os poros permeáveis no volume da partícula. Não se trata da densidade real do material sólido, que exigiria picnometria com pulverização da amostra.

3.6 Massa unitária no estado solto

A massa unitária no estado solto foi determinada segundo a ABNT NBR 16972:2021, em recipiente cilíndrico metálico de 19,95 cm de diâmetro interno e 24,15 cm de altura, cujo volume nominal, calculado geometricamente pela Equação 3, é de 0,0075 m³. Ressalta-se que a norma prescreve a calibração do recipiente pela massa de água necessária para preenchê-lo; a adoção do volume geométrico constitui uma simplificação, cujo erro é estimado em menos de 1% para recipientes de fabricação rígida. O agregado, previamente seco em estufa, foi lançado no recipiente com auxílio de concha, de altura não superior a 5 cm acima da borda, sem compactação ou vibração, e a superfície foi rasada com régua metálica. A massa unitária (ρ_{ap}) foi obtida pela Equação 4, em que m_{ar} é a massa do agregado contido no recipiente (massa bruta menos a massa do recipiente vazio) e V o volume do recipiente. Foram realizadas três determinações independentes por material, adotando-se a média; a diferença entre determinações não excedeu 1,2%.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3)$$

$$\rho_{ap} = m_{ar} / V \quad (4)$$

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

3.7 Composição granulométrica e dimensão máxima característica

O peneiramento do agregado reciclado e da areia foi realizado conforme a ABNT NBR 17054:2022, com amostras secas em estufa a (105 ± 5) °C até constância de massa, pesadas em balança digital com resolução de 5 g. A massa de ensaio foi de 11,96 kg para o agregado reciclado e de 1,5 kg para a areia, valores superiores aos mínimos da norma. Utilizou-se o conjunto de peneiras disponível no laboratório, com aberturas de 38,1; 25,4; 12,7; 5,6; 4,76; 2,38; 1,40; 1,19; 0,85; 0,59; 0,425 e 0,074 mm, peneiradas em pares, com tampa e fundo, por agitação manual até que não se observasse passagem apreciável de material. O conjunto não reproduz integralmente as séries normal e intermediária da ABNT NBR 7211:2019 (faltam, entre outras, as peneiras de 19; 9,5 e 6,3 mm), de modo que a dimensão máxima característica e o módulo de finura calculados são aproximados, condição registrada como limitação do estudo.

A partir das massas retidas em cada peneira calcularam-se as porcentagens retidas e retidas acumuladas, referidas à massa seca inicial da amostra, e traçaram-se as curvas granulométricas, comparadas aos limites da zona granulométrica 9,5/25 da ABNT NBR 7211:2019, correspondente à brita 1. A dimensão máxima característica (DMC) foi definida como a abertura da menor peneira na qual a porcentagem retida acumulada é igual ou inferior a 5%, e o módulo de finura (MF) como a soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal dividida por 100, conforme a ABNT NBR 7211:2019.

3.8 Produção dos concretos e ensaio de compressão

Foram produzidos dois concretos, designados C50 e C100, com substituição de 50% e 100%, em massa, do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado. Não foi realizada dosagem experimental: adotou-se o traço empírico em massa 1 : 3 : 3 (cimento : areia : agregado graúdo), com relação água/cimento fixa em 0,65, valor correspondente ao limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 12655:2022 para a classe de agressividade ambiental I. Cada betonada empregou 2,80 kg de cimento, 8,40 kg de areia e 8,40 kg de agregado graúdo, sendo 4,20 kg de brita e 4,20 kg de reciclado no C50 e 8,40 kg de reciclado no C100. A Tabela 1 apresenta a composição

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

dos traços. A substituição foi feita em massa, sem correção pela diferença de massa unitária entre os agregados, o que resulta em maior volume de agregado graúdo no C100. O agregado reciclado foi empregado seco ao ar, sem pré-umidificação nem compensação de água, opção que expõe a mistura à absorção do agregado e é discutida na Seção 4.4. A mistura foi realizada manualmente em masseira, na sequência cimento e areia, agregado graúdo e água, e a consistência, avaliada pelo abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 16889:2020), foi de (140 ± 20) mm.

Tabela 1. Composição das betonadas dos concretos C50 e C100.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Reciclado (kg)	Água (kg)	a/c
C50	2,80	8,40	4,20	4,20	1,82	0,65
C100	2,80	8,40	0,00	8,40	1,82	0,65

Fonte: Autoria própria (2026).

Os corpos de prova cilíndricos de 100 × 200 mm foram moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015, com adensamento manual em duas camadas de 12 golpes com haste metálica, desmoldados após 24 h e curados imersos em tanque de água até as idades de ensaio. Foram moldados seis corpos de prova por traço, três ensaiados aos 7 dias e três aos 28 dias, em prensa elétrica Solocap de 1.000 kN de capacidade e precisão declarada de ± 1%, com carregamento contínuo até a ruptura, conforme a ABNT NBR 5739:2018. As faces dos corpos de prova não foram regularizadas por capeamento ou retificação, condição que, segundo Cangussu et al., tende a reduzir a resistência aparente e a ampliar a dispersão dos resultados, e que foi considerada na interpretação dos coeficientes de variação. Os resultados são apresentados como média, desvio-padrão e coeficiente de variação por traço e idade.

Não foi moldado concreto de referência com 100% de agregado natural. Essa limitação, decorrente do escopo do projeto ao qual a pesquisa se vincula, impede a quantificação da perda ou ganho de resistência atribuível ao agregado reciclado; as comparações apresentadas restringem-se aos dois teores de substituição estudados e aos requisitos normativos para artefatos sem função estrutural.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

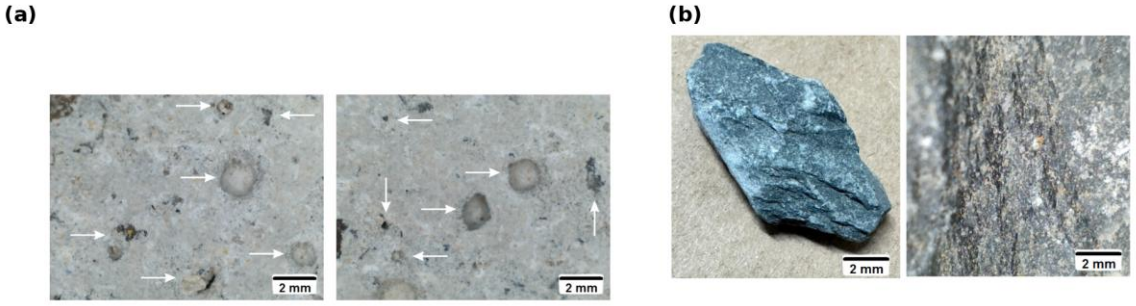
Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

4. Resultados e Discussão

4.1 Morfologia superficial

A Figura 3 compara a superfície dos dois agregados. O agregado reciclado (a) apresenta superfície heterogênea e rugosa, com poros e microvazios aparentes e regiões de argamassa aderida de coloração clara envolvendo o grão original, além de arestas vivas produzidas pela fragmentação. O agregado natural (b) exibe superfície mais homogênea e compacta, com menor ocorrência de poros visíveis e sem material aderido, exceto pó de britagem.

Figura 3. Aspecto superficial das partículas em microscopia digital: (a) agregado reciclado de concreto; (b) agregado natural.



Fonte: Autoria própria (2026).

As diferenças observadas são consistentes com a origem dos materiais. A argamassa aderida é porosa e menos resistente que a rocha, e a britagem do concreto endurecido introduz microfissuras na interface argamassa-agregado (Levy; Nagataki et al.). Bauer destaca que a rugosidade e a angularidade elevam a demanda de água da mistura, mas melhoram a aderência mecânica com a pasta de cimento. A análise morfológica antecipa, portanto, maior absorção e menor densidade para o agregado reciclado, o que foi confirmado pelos ensaios subsequentes.

4.2 Absorção de água, densidade e massa unitária

A Tabela 2 reúne os resultados de caracterização física. A absorção de água do agregado reciclado (7,51%) foi 2,5 vezes a do agregado natural (3,04%), em

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

coerência com a porosidade da argamassa aderida evidenciada na microscopia. O valor situa-se no extremo superior da faixa reportada por Alves et al. (2,76% a 7,35%) e por Leite (3% a 10%) para agregados graúdos de concreto reciclado, e excede em 0,5 ponto percentual o limite de 7% estabelecido pela ABNT NBR 15116:2021 para a subclasse ARCO. Embora a composição do material o enquadre como ARCO, o não atendimento ao requisito de absorção implica que ele não pode ser empregado em concreto com função estrutural, ainda que em teor de 20%, permanecendo admitido, pelo critério de 12%, para artefatos, argamassas e concretos sem função estrutural.

Tabela 2. Caracterização física dos agregados graúdos.

Propriedade	Método	Agregado natural	Agregado reciclado	Limite normativo
Absorção de água (%)	NBR 16917:2021	3,04	7,51	≤ 7 (ARCO) / ≤ 12 (ARCI, ARM)[a]
Densidade do agregado seco (g/cm³)	NBR 16917:2021	—	2,39	Não especificado
Massa unitária, estado solto (kg/m³)	NBR 16972:2021	1.918 ± 13	1.753 ± 5	Não especificado
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 17054:2022 / NBR 7211:2019	—	25	—
Módulo de finura	NBR 17054:2022 / NBR 7211:2019	—	6,43	—

Fonte: Autoria própria (2026). [a] ABNT NBR 15116:2021, Tabela 3. (—) Ensaio restrito ao agregado reciclado, objeto da caracterização.

A absorção de 3,04% da brita natural é elevada para agregados britados de rochas ígneas ou metamórficas, geralmente inferiores a 1,5%, e sugere rocha de origem sedimentar porosa. Esse resultado tem consequência prática: a diferença de demanda de água entre os agregados é menor do que a usualmente reportada na literatura, o que atenua o impacto da substituição sobre a trabalhabilidade.

A densidade do agregado seco do reciclado (2,39 g/cm³) é inferior à média de 2,50 g/cm³ compilada por Alves et al. e às densidades típicas de agregados britados de rocha sã (2,60 a 2,80 g/cm³), refletindo a fração volumétrica de argamassa aderida. Absorção elevada e densidade reduzida caminham juntas, como previsto pela correlação entre essas propriedades e o teor de argamassa aderida

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

estabelecida por Silva, Brito e Dhir, e situam o material na faixa esperada para agregados reciclados de concreto.

A massa unitária no estado solto do agregado reciclado (1.753 kg/m³) foi 8,6% inferior à da brita natural (1.918 kg/m³), com desvios-padrão inferiores a 1% das médias nas três determinações. A redução é menor do que a diferença entre as densidades das partículas, o que indica que a distribuição granulométrica mais contínua do reciclado, com maior presença de frações abaixo de 4,75 mm (Seção 4.3), compensou parcialmente a menor densidade dos grãos por meio de melhor empacotamento (Neville 108-112). Do ponto de vista da dosagem, a substituição em massa adotada neste trabalho implica cerca de 9% a mais de volume de agregado graúdo no C100 do que em um concreto com brita natural de mesma proporção, o que reduz a espessura da película de pasta em torno dos grãos e tende a penalizar a trabalhabilidade e a resistência. A areia apresentou massa unitária de 2.074 kg/m³ e densidade de 2,65 g/cm³, valores típicos de areias quartzosas.

4.3 Composição granulométrica

A Tabela 3 apresenta as porcentagens retidas acumuladas e a Figura 4 as curvas granulométricas confrontadas com a zona 9,5/25 da ABNT NBR 7211:2019. O agregado reciclado apresentou DMC de 25 mm (4,1% retido acumulado na peneira de 25,4 mm), módulo de finura de 6,43 e enquadrou-se nos limites da zona 9,5/25 na peneira de 12,7 mm (60,6% retido acumulado). Abaixo dessa abertura, contudo, a curva situou-se abaixo do limite inferior: 13,5% da massa passou na peneira de 4,76 mm, contra o máximo de 5% admitido pela zona, e 4,2% passou na peneira de 0,074 mm. Esse excesso de frações finas decorre do processo de fragmentação do concreto, que gera partículas de argamassa desprendida e pó, e indica que o peneiramento de descarte da fração miúda deve ser mais rigoroso na produção do agregado. A distribuição resultante é, por outro lado, mais contínua do que a da brita natural, o que contribui para o empacotamento e explica a massa unitária equivalente.

Tabela 3. Composição granulométrica do agregado reciclado de concreto e limites da zona 9,5/25.

CC BY

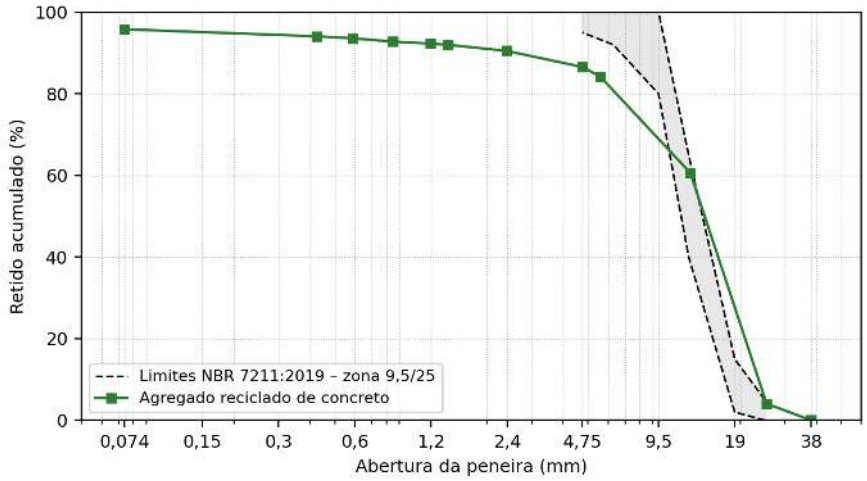
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

Peneira (mm)	Massa retida (kg)	Retido (%)	Retido acumulado (%)	Zona 9,5/25 – NBR 7211:2019 (%)
38,1	0,000	0,0	0,0	—
25,4	0,485	4,1	4,1	0 – 5
12,7	6,760	56,5	60,6	40 – 65
5,6	2,820	23,6	84,2	—
4,76	0,285	2,4	86,5	95 – 100
2,38	0,475	4,0	90,5	—
1,40	0,175	1,5	92,0	—
1,19	0,035	0,3	92,3	—
0,85	0,060	0,5	92,8	—
0,59	0,095	0,8	93,6	—
0,425	0,060	0,5	94,1	—
0,074	0,205	1,7	95,8	—
Fundo	0,035	0,3	96,1	—
Perda	0,470	3,9	—	—

Fonte: Autoria própria (2026). Massa inicial: 11,960 kg.

Figura 4. Curva granulométrica do agregado reciclado de concreto e limites da zona 9,5/25 da ABNT NBR 7211:2019.



Fonte: Autoria própria (2026).

A perda de massa no peneiramento foi de 3,9%, superior ao limite de 0,3% admitido pela ABNT NBR 17054:2022, e é atribuída ao desprendimento de pó de argamassa durante a agitação manual e à fragmentação da amostra em porções; as porcentagens foram referidas à massa inicial.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

4.4 Resistência à compressão axial

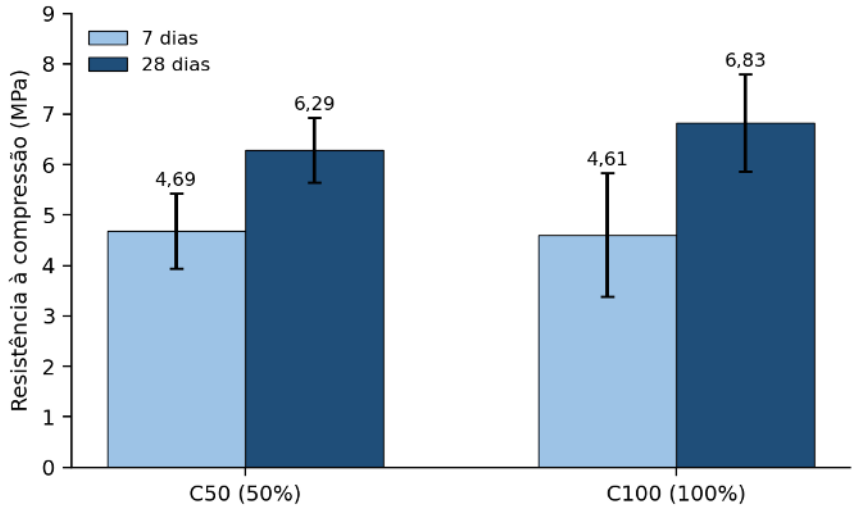
A Tabela 4 e a Figura 5 apresentam as resistências médias dos concretos C50 e C100. Aos 7 dias, os dois traços apresentaram resistências equivalentes (4,69 e 4,61 MPa). Aos 28 dias, o C100 atingiu 6,83 MPa e o C50, 6,29 MPa, com ganhos entre as duas idades de 48% e 34%, respectivamente. A relação f_{c7}/f_{c28} de 0,69 (C100) e 0,75 (C50) está dentro da faixa usual para cimentos Portland compostos, o que indica evolução normal da hidratação e descarta anomalias grosseiras de cura.

Tabela 4. Resistência à compressão axial dos concretos com agregado reciclado.

Traço	Idade (dias)	Valores individuais (MPa)	Média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	CV (%)
C50	7	3,99; 4,64; 5,46	4,69	0,74	15,7
C50	28	6,05; 5,81; 7,01	6,29	0,64	10,1
C100	7	5,06; 3,23; 5,54	4,61	1,22	26,5
C100	28	5,85; 6,86; 7,79	6,83	0,97	14,2

Fonte: Autoria própria (2026). n = 3 por traço e idade.

Figura 5. Resistência média à compressão dos concretos C50 e C100 aos 7 e 28 dias, com desvio-padrão.



Fonte: Autoria própria (2026).

A diferença de 0,54 MPa (8,6%) entre os traços aos 28 dias é inferior aos desvios-padrão dos grupos (0,64 e 0,97 MPa) e, com três corpos de prova por grupo, não é estatisticamente significativa. Os coeficientes de variação, de 10% a 14% aos 28 dias e de 16% a 27% aos 7 dias, superam largamente os 4% a 5% que a ABNT

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

NBR 5739:2018 associa a um ensaio de nível excelente, e refletem a ausência de regularização das faces (Cangussu et al.), a mistura e o adensamento manuais, a heterogeneidade dos corpos de prova de origem do agregado e a dispersão inerente a concretos de baixa resistência (Mehta e Monteiro 512-520). O resultado mais defensável é que os dois teores de substituição conduziram a resistências equivalentes.

Ainda assim, dois mecanismos podem justificar a ausência de perda de resistência com o aumento do teor de reciclado, contrariamente à tendência geral da literatura (Etxeberria et al.; Cabral et al.). O primeiro é a rugosidade e a angularidade das partículas recicladas, que ampliam a área de contato e o intertravamento com a nova pasta (Surya, Kanta Rao e Lakshmy; Bauer). O segundo, provavelmente dominante, decorre da elevada absorção: o agregado reciclado seco retira água da pasta durante a mistura, reduzindo a relação água/cimento efetiva na vizinhança das partículas e, posteriormente, devolvendo essa água para a hidratação, em um mecanismo de cura interna descrito por Poon, Shui e Lam. Esse efeito é tanto mais relevante quanto maior a relação água/cimento nominal da mistura, e é coerente com o maior ganho de resistência entre 7 e 28 dias observado no C100. A confirmação dessa hipótese exige o registro do estado de umidade do agregado no momento da mistura e a moldagem de um traço de referência.

Os níveis de resistência obtidos, inferiores a 10 MPa, situam os concretos abaixo da classe C20, mínima para fins estruturais segundo a ABNT NBR 8953:2015, e resultam do conjunto de escolhas de dosagem — traço pobre (1:6 em massa de agregados), relação água/cimento elevada, areia fina de módulo de finura 1,78 e agregado reciclado seco sem compensação de água — e não do agregado reciclado em si, uma vez que Alves et al. relatam concretos com 100% de agregado reciclado de concreto acima de 20 MPa em todos os estudos revisados. Para o uso previsto no projeto ao qual a pesquisa se vincula, bancos de concreto para área de convivência, elementos maciços solicitados predominantemente à compressão e ao peso próprio, as resistências obtidas superam, por exemplo, o mínimo de 3,0 MPa exigido pela ABNT NBR 6136:2016 para blocos de concreto classe C sem função estrutural, e são compatíveis com concretos magros de enchimento e contrapisos. A

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

elevação da resistência para outras aplicações não estruturais, como pisos intertravados ou guias, dependeria da redução da relação água/cimento e da compensação da água de absorção, conforme prevê a ABNT NBR 15116:2021.

Cabe registrar, por fim, que a durabilidade dos concretos não foi avaliada. A maior porosidade do agregado reciclado tende a elevar a absorção e a sorvidade do concreto (Alves et al.), o que, em elementos expostos ao intemperismo como bancos externos, pode acelerar a carbonatação e o desgaste superficial. Ensaios de absorção por imersão e por capilaridade e de resistência à abrasão são recomendados antes da produção em escala dos artefatos.

5. Conclusão

A caracterização física demonstrou que o agregado reciclado de concreto obtido de corpos de prova de laboratório apresenta absorção de água (7,51%) 2,5 vezes superior à da brita natural (3,04%) e menor densidade do agregado seco, ambas consequência da argamassa aderida evidenciada na análise morfológica. A absorção excede o limite de 7% da ABNT NBR 15116:2021 para a subclasse ARCO, o que veda o uso do material em concreto estrutural, mas o mantém apto, pelo limite de 12%, a artefatos e concretos sem função estrutural, em teores de substituição de até 100%.

A massa unitária no estado solto do reciclado foi 8,6% inferior à da brita natural, e sua distribuição granulométrica, com DMC de 25 mm e módulo de finura de 6,43, atendeu à zona 9,5/25 da ABNT NBR 7211:2019 nas frações graúdas, apresentando excesso de finos abaixo de 4,76 mm (13,5% passante), atribuível à fragmentação manual.

Os concretos com 50% e 100% de substituição atingiram, aos 28 dias, resistências médias de 6,29 ± 0,64 e 6,83 ± 0,97 MPa, estatisticamente equivalentes. A ausência de perda de resistência com o aumento do teor de reciclado é atribuída ao efeito combinado da rugosidade das partículas e da cura interna promovida pela água absorvida pelo agregado, hipótese cuja confirmação requer um traço de referência com agregado natural. As resistências obtidas são compatíveis com a aplicação prevista, bancos de concreto e outros artefatos sem função estrutural, e

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

indicam a viabilidade técnica do reaproveitamento local dos resíduos de concreto gerados nas atividades didáticas de laboratório.

Como continuidade, recomenda-se: (i) moldar concreto de referência com 100% de agregado natural e traços intermediários (25% e 75%), com registro completo da dosagem; (ii) ampliar o número de corpos de prova por idade para, no mínimo, seis, com adensamento mecânico e análise de variância; (iii) regularizar as faces por retificação e avaliar a pré-umidificação e a compensação de água previstas na ABNT NBR 15116:2021; (iv) determinar a absorção, a sorvidade e a resistência à abrasão dos concretos, em razão da exposição externa dos artefatos; e (v) quantificar o teor de argamassa aderida do agregado, correlacionando-o com a absorção e a densidade.

Agradecimentos

À Universidade Estadual de Montes Claros, ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas (PPGMCS) e à Novo Tempo Engenharia, pela infraestrutura e pelo apoio técnico à realização dos ensaios.

Referências

Almeida e Silva, Danillo de, e Carlos Eduardo Luna de Melo. “Agregado reciclado, uma fonte sustentável de matéria-prima: uma revisão.” *Revista Principia*, vol. 60, no. 1, 2023, https://doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6033.

Alves, Jordane Gabriele Santos, et al. “Concrete Waste as Coarse Aggregate in Cementitious Matrices: Review.” *Mix Sustentável*, vol. 10, no. 5, 2024, pp. 161-171, https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n5.161-171.

Angulo, Sérgio Cirelli, e Antonio Domingues de Figueiredo. “Concreto com agregado reciclado.” *Concreto: Ciência e Tecnologia*, organizado por Geraldo Cechella Isaia, vol. 2, IBRACON, 2011, cap. 47, pp. 1731-1767.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. ABNT, 2015.

---. *ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. ABNT, 2018.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

---. *ABNT NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos*. ABNT, 2016.

---. *ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação*. ABNT, 2019.

---. *ABNT NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. ABNT, 2015.

---. *ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento*. ABNT, 2022.

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

---. *ABNT NBR 15844: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos*. ABNT, 2015.

---. *ABNT NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos*. ABNT, 2018.

---. *ABNT NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. ABNT, 2020.

---. *ABNT NBR 16915: Agregados – Amostragem*. ABNT, 2021.

---. *ABNT NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. ABNT, 2021.

---. *ABNT NBR 16917: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água*. ABNT, 2021.

---. *ABNT NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios*. ABNT, 2021.

---. *ABNT NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio*. ABNT, 2022.

Bauer, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de Construção*. 5ª ed., vol. 1, LTC, 2000.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil*. Diário Oficial da União, 17 jul. 2002.

---. *Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307/2002*. Diário Oficial da União, 19 jan. 2012.

Brasil. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Diário Oficial da União, 3 ago. 2010, www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

Cabral, Antonio Eduardo Bezerra, et al. “Mechanical Properties Modeling of Recycled Aggregate Concrete.” *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 4, 2010, pp. 421-430, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.011.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

Cangussu, Nayara, et al. “Influence of the Preparation of the Cylindrical Specimen Surface and Approach Analysis on the Test Value of Compressive Strength.” *Structural Concrete*, vol. 23, no. 6, 2022, pp. 3722-3736, https://doi.org/10.1002/suco.202100636.

Carvalho, R. A., et al. “Utilização de resíduos de corpos de prova de concreto para fabricação de pavimentação intertravada.” *Revista UNIFAE*, vol. 6, no. 2, 2018, pp. 12-26.

Etxeberria, Miren, et al. “Influence of Amount of Recycled Coarse Aggregates and Production Process on Properties of Recycled Aggregate Concrete.” *Cement and Concrete Research*, vol. 37, no. 5, 2007, pp. 735-742, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.002.

Frotté, Camila, et al. “Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD.” *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 22, no. 2, 2017, https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0143.

Gomes, Henrique C. “Concreto produzido com resíduos de construção e demolição.” *Anais do IX Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção (ENARC)*, vol. 9, no. 1, ANTAC, 2025, pp. 1-6, https://doi.org/10.46421/enarc.v9i1.6673.

Leite, Mônica Batista. *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. 2001. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tese de doutorado, www.lume.ufrgs.br/handle/10183/21839.

Levy, Salomon Mony. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. 2001. Universidade de São Paulo, tese de doutorado.

Mehta, P. Kumar, e Paulo J. M. Monteiro. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2ª ed. brasileira, IBRACON, 2014.

Nagataki, Shigeyoshi, et al. “Assessment of Recycling Process Induced Damage Sensitivity of Recycled Concrete Aggregates.” *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 6, 2004, pp. 965-971, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.008.

Neville, Adam M. *Propriedades do Concreto*. 5ª ed., Bookman, 2016.

Poon, Chi Sun, Z. H. Shui e L. Lam. “Effect of Microstructure of ITZ on Compressive Strength of Concrete Prepared with Recycled Aggregates.” *Construction and Building Materials*, vol. 18, no. 6, 2004, pp. 461-468, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005.

Santos, S. B. J. S., et al. “Utilização de resíduos de corpos de prova em substituição do agregado graúdo de concretos.” *Revista InterScientia*, vol. 4, no. 2, 2016, pp. 137-151.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/08/2026 - **Accepted:** 20/09/2026
Vol: 13.20
DOI: 10.66104/45s2g007
Pages: 1-24

Silva, Rui Vasco, Jorge de Brito e Ravindra K. Dhir. “Properties and Composition of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste Suitable for Concrete Production.” *Construction and Building Materials*, vol. 65, 2014, pp. 201-217, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117.

Surya, M., V. V. L. Kanta Rao e P. Lakshmy. “Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure.” *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 104, 2013, pp. 1158-1167, https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.212.

Tam, Vivian W. Y., Mahfooz Soomro e Ana Catarina Jorge Evangelista. “A Review of Recycled Aggregate in Concrete Applications (2000-2017).” *Construction and Building Materials*, vol. 172, 2018, pp. 272-292, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240.

Tenório, Jonathas J. L., et al. “Concrete Produced with Recycled Aggregates.” *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 5, no. 5, 2012, pp. 692-701, https://doi.org/10.1590/S1983-41952012000500006.

CC BY