v7.n10. 2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADO MIÚDO RECICLADO

## *PERFORMANCE EVALUATION OF CONCRETE IN THE FRESH AND HARDENED STATE WITH PARTIAL REPLACEMENT OF RECYCLED FINE AGGREGATE*

## *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE ÁRIDOS FINOS RECICLADOS*

Jeferson Cardoso Brandão[1]

e7109205
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i10.9205

PUBLICADO: 10/2026

**RESUMO**

O objetivo deste estudo é avaliar o desempenho do concreto produzido com a substituição parcial e total do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD), analisando suas propriedades no estado fresco e endurecido, especialmente quanto à trabalhabilidade e à resistência à compressão, visando verificar a viabilidade de seu emprego na produção de concretos para fins não estruturais. Metodologicamente, trata-se de um estudo de natureza experimental, quantitativa e comparativa que contemplou a caracterização dos materiais empregados, a produção das misturas de concreto e a realização de ensaios destinados à avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido, tendo sido produzidas quatro composições de concreto: uma mistura de referência, constituída exclusivamente por agregado miúdo natural, e três misturas experimentais, nas quais o agregado miúdo natural foi substituído por agregado miúdo reciclado nos teores de 25%, 50% e 100%, respectivamente. A caracterização mostrou que o RCD possui menor massa específica (2,358 g/cm³ contra 2,645 g/cm³) e maior absorção de água, impactando diretamente a demanda hídrica das misturas. No estado fresco, o consumo de água aumentou proporcionalmente ao teor de RCD para manter o abatimento em 10 ± 2 cm, elevando a relação água/cimento de 0,61 (referência) para 0,71 (50% RCD) e 0,86 (100% RCD). No estado endurecido, todos os traços apresentaram ganho de resistência entre 7 e 28 dias. Contudo, verificou-se redução significativa da resistência à compressão nos maiores percentuais de substituição: 18,50 MPa (50%) e 17,02 MPa (100%), em comparação aos 23,11 MPa do concreto de referência.

**PALAVRAS-CHAVE**: Concreto. Agregado. Reciclado. Desempenho.

***ABSTRACT***

*The objective of this study is to evaluate the performance of concrete produced with the partial and total replacement of natural fine aggregate by recycled fine aggregate from construction and demolition waste (CDW), analyzing its properties in the fresh and hardened state, especially regarding workability and compressive strength, aiming to verify the viability of its use in the production of concrete for non-structural purposes. Methodologically, this is an experimental, quantitative and comparative study that included the characterization of the materials used, the production of concrete mixtures and the carrying out of tests aimed at evaluating the properties in the fresh and hardened state, with four concrete compositions being produced: a reference mixture, consisting exclusively of natural fine aggregate, and three experimental mixtures, in which natural fine aggregate was replaced by recycled fine aggregate at levels of 25%, 50% and 100%, respectively. The characterization showed that CDW has a lower specific mass (2.358 g/cm³ against 2.645 g/cm³) and greater water absorption, directly impacting the water demand of the mixtures.*

[1] Engenheiro Civil, Faculdade Pitágoras Unopar – Londrina, PR.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

*In the fresh state, water consumption increased proportionally to the CDW content to maintain the slump at 10 ± 2 cm, raising the water/cement ratio from 0.61 (reference) to 0.71 (50% CDW) and 0.86 (100% CDW). In the hardened state, all mixes showed a gain in strength between 7 and 28 days. However, a significant reduction in compressive strength was observed at the highest replacement percentages: 18.50 MPa (50%) and 17.02 MPa (100%), compared to 23.11 MPa for the reference concrete.*

***KEYWORDS**: Concrete. Aggregate. Recycled. Performance.*

***RESUMEN***
*El objetivo de este estudio es evaluar el rendimiento del concreto producido con la sustitución parcial y total de áridos finos naturales por agregados finos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD), analizando sus propiedades en estado fresco y endurecido, especialmente en lo que se refiere a la trabajabilidad y resistencia a la compresión, con el objetivo de verificar la viabilidad de su uso en la producción de hormigón para fines no estructurales. Metodológicamente, se trata de un estudio experimental, cuantitativo y comparativo que incluyó la caracterización de los materiales utilizados, la producción de mezclas de hormigón y la realización de pruebas destinadas a evaluar las propiedades en estado fresco y endurecido, con la producción de cuatro composiciones de concreto: una mezcla de referencia, compuesta exclusivamente por agregados finos naturales, y tres mezclas experimentales, en las que los agregados finos naturales fueron sustituidos por agregados finos reciclados a niveles del 25%, 50% y 100%, respectivamente. La caracterización mostró que el RCD tiene una masa específica más baja (2,358 g/cm³ contra 2,645 g/cm³) y una mayor absorción de agua, afectando directamente la demanda de agua de las mezclas. En el estado fresco, el consumo de agua aumentó proporcionalmente al contenido de RCD para mantener el asentamiento en 10 ± 2 cm, elevando la relación agua/cemento de 0,61 (referencia) a 0,71 (50% RCD) y 0,86 (100% RCD). En el estado endurecido, todas las mezclas mostraron un aumento de la resistencia entre 7 y 28 días. Sin embargo, se observó una reducción significativa en la resistencia a la compresión en los porcentajes de reemplazo más altos: 18,50 MPa (50%) y 17,02 MPa (100%), en comparación con los 23,11 MPa del concreto de referencia.*

***PALABRAS CLAVE**: Concreto. Agregado. Reciclado. Rendimiento.*

## INTRODUÇÃO

A expansão do setor da construção civil está associada à significativa produção de resíduos, especialmente aqueles resultantes de processos de construção, reforma e demolição. Esse cenário evidencia a necessidade de desenvolver alternativas capazes de promover o reaproveitamento desses materiais, reduzir a exploração de recursos naturais e contribuir para práticas construtivas ambientalmente mais responsáveis. Entre as estratégias de valorização dos resíduos da construção e demolição (RCD), destaca-se a transformação desses materiais em agregados reciclados destinados à produção de concreto.

Entretanto, a incorporação de agregados reciclados pode modificar determinadas características do concreto, tornando necessária a avaliação de seu comportamento durante as diferentes etapas de utilização. Nesse sentido, o presente trabalho aborda a avaliação do



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

desempenho do concreto no estado fresco e no estado endurecido, mediante a substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado, considerando aspectos relacionados à consistência, trabalhabilidade e resistência mecânica.

Este estudo se justifica na necessidade de analisar o desempenho do concreto quando parte do agregado miúdo natural é substituída por agregado reciclado, considerando-se que o uso de agregados reciclados na produção de concreto representa uma alternativa viável para o reaproveitamento dos resíduos da construção civil, contribuindo para a diminuição da extração de recursos naturais e para a adoção de práticas mais sustentáveis no setor. Além dos benefícios ambientais, essa solução pode gerar vantagens econômicas ao substituir agregados naturais por reciclados. Nesse sentido, o estudo dessa possibilidade mostra-se relevante diante da necessidade de promover maior sustentabilidade na construção civil.

A substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado pode alterar propriedades fundamentais do concreto, como absorção de água, trabalhabilidade, relação água/cimento e resistência à compressão. Diante dessa questão, formula-se o seguinte problema de pesquisa: Qual é o efeito da substituição do agregado miúdo natural por diferentes percentuais de agregado reciclado, proveniente de resíduos da construção e demolição, nas propriedades do concreto fresco e endurecido, especialmente quanto à trabalhabilidade e à resistência à compressão?

O objetivo geral deste estudo é avaliar o desempenho do concreto produzido com a substituição parcial e total do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD), analisando suas propriedades no estado fresco e endurecido, especialmente quanto à trabalhabilidade e à resistência à compressão, visando verificar a viabilidade de seu emprego na produção de concretos para fins não estruturais; e como objetivos específicos: caracterizar os agregados miúdos natural e reciclado, avaliando suas propriedades físicas, especialmente massa específica e absorção de água; produzir e analisar concretos com diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado (25%, 50% e 100%), verificando a trabalhabilidade e a relação água/cimento das misturas; e avaliar e comparar a resistência à compressão dos concretos aos 7, 14 e 28 dias de cura, verificando a viabilidade da utilização do agregado reciclado na produção de concretos para fins não estruturais.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 1.1. Resíduos da Construção e Demolição (RCD)

A construção civil desempenha papel central no desenvolvimento econômico e social, pois está diretamente ligada à criação e manutenção de edificações, infraestrutura e espaços urbanos. Contudo, suas atividades – incluindo obras, reformas e demolições – resultam em grande produção de resíduos de diferentes tipos e características. Esses Resíduos da Construção e Demolição (RCD) representam um desafio ambiental devido ao volume gerado, à diversidade de materiais e à necessidade de destinação adequada (Sousa, 2023).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil, 2002) define normas para a gestão dos RCD, abrangendo resíduos de obras, reformas, reparos e escavações. Entre os materiais mais comuns estão concreto, argamassa, cerâmica, solos, metais, madeira, gesso, vidro, plásticos e pavimento asfáltico. A resolução estabelece uma hierarquia de gestão que prioriza: não geração → redução → reutilização → reciclagem → destinação final ambientalmente correta, promovendo uma mudança de paradigma em relação ao descarte tradicional.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil, 2002), os RCD são classificados em quatro categorias: Classe A: materiais minerais reutilizáveis ou recicláveis (concreto, cerâmica, argamassa, solos); Classe B: recicláveis para outras cadeias produtivas (plásticos, metais, papel, vidro, madeira, gesso); Classe C: resíduos sem tecnologia viável de reciclagem; e Classe D: resíduos perigosos ou contaminados. Essa classificação evidencia que os RCD não são homogêneos e que muitos possuem potencial de reaproveitamento, especialmente os minerais da Classe A.

Sobre reutilização e reciclagem do RCD, Almeida (2017) explica que a reutilização consiste em empregar novamente o material sem grandes alterações, enquanto a reciclagem envolve processamento para gerar novos insumos. Resíduos minerais da Classe A podem ser britados e peneirados para produção de agregados reciclados, aplicáveis em enchimentos, bases de pavimentação e usos não estruturais. Essa prática aproxima a construção civil dos princípios da economia circular, transformando resíduos em recursos.

Os agregados reciclados são obtidos do beneficiamento de resíduos minerais e apresentam diferenças em relação aos naturais, como granulometria e presença de argamassa aderida. No Brasil, as normas ABNT NBR 15115 (ABNT, 2004a) e NBR 15116 (ABNT, 2004b) estabelecem critérios para seu uso em pavimentação e concreto sem função estrutural. Apesar das limitações, sua aplicação contribui para reduzir o consumo de recursos naturais e o volume



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de resíduos destinados a aterros, desde que acompanhada de caracterização e controle tecnológico.

A temática dos RCD está diretamente vinculada ao conceito de sustentabilidade no setor da construção. Uma prática construtiva sustentável envolve não apenas a mitigação dos impactos ambientais durante a execução das obras, mas também o uso eficiente dos recursos naturais, a redução das perdas e a destinação correta dos materiais descartados (Sousa, 2023).

Sobre a economia circular aplicada aos RCD, a literatura aponta que este tipo de economia propõe superar o modelo linear de extrair, produzir, usar e descartar. Na construção civil, essa abordagem busca prolongar o ciclo de vida dos materiais, reduzindo a geração de resíduos e a necessidade de extração contínua de recursos naturais (Grude, 2024). Os RCD possuem grande potencial para aplicação desses princípios, especialmente quando segregados na origem e encaminhados para reutilização ou reciclagem. Resíduos como concreto, argamassa e cerâmica podem ser transformados em fontes secundárias de matéria-prima.

Apesar das oportunidades de reutilização e reciclagem, a gestão dos RCD enfrenta diversos desafios: técnicos: heterogeneidade dos resíduos, presença de contaminantes, falta de segregação na fonte, custos de transporte e processamento, além da necessidade de controle tecnológico (Grude, 2024); qualidade dos agregados reciclados: a variação na composição dos resíduos pode gerar produtos com características distintas, exigindo procedimentos rigorosos de caracterização e controle (Santos Filho, 2022); e de infraestrutura e mercado: a viabilidade econômica depende da existência de áreas de triagem, unidades de reciclagem, sistemas de transporte e consumidores para os materiais reciclados (Sousa, 2023).

Assim, ampliar o aproveitamento dos RCD requer uma abordagem integrada, que envolva planejamento das obras, capacitação dos profissionais, segregação eficiente, infraestrutura adequada, regulamentação clara e estímulo à demanda por materiais reciclados.

### 1.2. Propriedades do concreto fresco e endurecido

O concreto apresenta comportamentos distintos durante sua produção e utilização, sendo necessário diferenciar suas características no estado fresco e no estado endurecido. No primeiro caso, é fundamental que a mistura apresente condições adequadas para preparo, transporte, lançamento e adensamento. Já no estado endurecido, o material deve atender a requisitos de resistência, durabilidade e estabilidade ao longo de sua vida útil. Essa distinção torna-se ainda mais relevante quando se utilizam agregados reciclados oriundos de resíduos da construção e demolição (RCD), pois suas particularidades podem alterar o desempenho da mistura.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Neville (2018) explica que o período compreendido entre a mistura dos componentes e o início da hidratação caracteriza o estado fresco do concreto. Nessa fase, propriedades como trabalhabilidade, consistência, coesão, segregação e exsudação são determinantes para a qualidade final. Trabalhabilidade refere-se à facilidade de misturar, transportar e adensar o concreto sem segregação. Misturas pouco trabalháveis dificultam o preenchimento das formas e podem comprometer a resistência futura; a consistência é avaliada pela fluidez da mistura, geralmente medida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*); agregados reciclados, por apresentarem maior porosidade e absorção de água, podem reduzir a disponibilidade de água livre na mistura, afetando a trabalhabilidade, razão pela qual o controle da umidade é essencial; a coesão garante distribuição uniforme dos componentes e, quando insuficiente, ocorre segregação, prejudicando a homogeneidade; por fim, a exsudação corresponde ao excesso de água que migra para a superfície e pode gerar porosidade e comprometer a ligação entre camadas. Assim, o controle das propriedades do concreto fresco é indispensável, especialmente quando se utilizam agregados reciclados.

Após o endurecimento, o concreto passa a apresentar propriedades estruturais e de durabilidade. Entre as principais estão: resistência à compressão: parâmetro essencial para avaliar a capacidade de suportar esforços, influenciado pela relação água/cimento, tipo de agregado, compactação e cura; em concretos com RCD, a presença de argamassa aderida e maior porosidade pode reduzir esse desempenho; resistência à tração: embora inferior à compressão, é importante para análise de fissuração; módulo de elasticidade: indica a deformabilidade do material sob carga. Agregados reciclados podem reduzir esse módulo devido à menor rigidez; absorção de água e porosidade: diretamente ligadas à estrutura interna do concreto. Maior porosidade facilita a entrada de agentes agressivos, comprometendo a durabilidade (Duart, 2020).

Tratando da influência dos agregados reciclados, Neville (2018) expressa que a incorporação de agregados reciclados pode modificar tanto as propriedades do concreto fresco quanto do endurecido. Características como massa específica, absorção, textura superficial e presença de argamassa aderida impactam o comportamento da mistura. No estado fresco, a maior absorção de água pode reduzir a trabalhabilidade; já no estado endurecido, a maior porosidade pode afetar resistência, módulo de elasticidade e durabilidade.

Apesar dessas alterações, o uso de RCD apresenta benefícios ambientais e econômicos, ao reduzir a necessidade de extração de agregados naturais e minimizar o descarte inadequado de resíduos. A caracterização experimental é, portanto, essencial para definir percentuais de substituição e garantir desempenho adequado.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

### 1.3. Sustentabilidade e viabilidade do concreto com agregado reciclado

A busca por alternativas sustentáveis na construção civil tem ganhado importância diante dos impactos ambientais associados ao elevado consumo de matérias-primas e à expressiva quantidade de resíduos gerados pelo setor. Nesse cenário, o aproveitamento dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) constitui uma possibilidade de reduzir a pressão sobre os recursos naturais e, simultaneamente, atribuir uma nova finalidade a materiais que seriam destinados ao descarte (Ferreira, 2022). O processamento desses resíduos para obtenção de agregados reciclados permite sua utilização como insumo na fabricação de novos produtos, favorecendo uma gestão mais eficiente dos materiais empregados nas atividades construtivas (Angulo et al., 2022).

A incorporação de agregados provenientes de RCD à produção de concreto também se relaciona aos princípios da economia circular, cujo propósito consiste em ampliar o aproveitamento dos materiais e reduzir a dependência de recursos naturais virgens. Nessa perspectiva, Angulo *et al.* (2023) apontam que a utilização de agregados reciclados pode apresentar benefícios ambientais, principalmente por possibilitar o reaproveitamento dos resíduos e diminuir a utilização de agregados naturais. Entretanto, o comportamento do concreto produzido com esse tipo de material não é uniforme, sendo influenciado por diferentes variáveis, entre elas a procedência do resíduo, sua composição, as técnicas empregadas no beneficiamento e a quantidade de agregado natural substituída.

A contribuição ambiental dessa alternativa está relacionada, entre outros aspectos, à possibilidade de reduzir a extração de areia e outros agregados naturais utilizados tradicionalmente na produção de concreto. A substituição, ainda que parcial, do agregado miúdo convencional por material reciclado pode diminuir a demanda por novas fontes de matéria-prima e os impactos decorrentes das atividades de extração e transporte. Paralelamente, o reaproveitamento dos RCD contribui para diminuir o volume de materiais que necessitam de disposição final. Dessa forma, a reciclagem dos resíduos pode estabelecer uma conexão entre as estratégias de gerenciamento de resíduos e a produção de insumos destinados à própria construção civil (Brito; Silva, 2023).

Entretanto, a utilização de agregados reciclados exige atenção às suas características físicas e à forma como elas interferem no comportamento das misturas cimentícias. De modo geral, esses agregados podem apresentar maior quantidade de poros e capacidade de absorção de água em comparação aos agregados naturais. Uma das razões para esse comportamento está relacionada à argamassa de cimento que permanece aderida às partículas após o processo de reciclagem. Essa condição pode modificar a quantidade de água disponível na mistura e, consequentemente, influenciar tanto as propriedades do concreto fresco quanto aquelas desenvolvidas após o endurecimento, razão pela qual a absorção de água se destaca como uma característica importante a ser considerada durante a preparação e a dosagem de concretos que incorporam agregados reciclados (Ferreira, 2022).



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A presença de partículas com maior absorção pode refletir diretamente no comportamento do concreto durante sua preparação e aplicação. No estado fresco, a disponibilidade de água na mistura exerce influência sobre a consistência e a facilidade de execução, podendo ocorrer alterações na trabalhabilidade quando são empregados agregados reciclados. Por esse motivo, Angulo *et al.* (2023) julgam necessário conhecer as condições de umidade do agregado antes da produção e estabelecer procedimentos de dosagem compatíveis com suas características.

Na visão de Neville (2018), a relação entre água e cimento também precisa ser cuidadosamente controlada, uma vez que modificações nesse parâmetro podem repercutir sobre diferentes propriedades do concreto. Nesse contexto, ensaios destinados à determinação da consistência e da trabalhabilidade são importantes para identificar os efeitos provocados pela substituição do agregado natural.

Após o endurecimento, o comportamento do concreto reciclado está condicionado tanto às características dos agregados quanto à composição da mistura e ao percentual de substituição adotado. A maior porosidade e a presença de argamassa residual nas partículas podem interferir em propriedades como resistência mecânica, absorção de água e durabilidade (Angulo et al., 2022). Todavia, tal como pondera Ferreira (2022), esses efeitos não significam que o concreto com agregado reciclado seja necessariamente inadequado. A seleção criteriosa dos resíduos, o processamento apropriado, a caracterização dos agregados e o controle dos parâmetros de produção são procedimentos capazes de favorecer resultados compatíveis com determinadas aplicações na construção civil.

No Brasil, a utilização desses materiais deve ser conduzida de acordo com os requisitos técnicos estabelecidos pelas normas pertinentes. A ABNT NBR 15116 (ABNT, 2004b), voltada aos agregados reciclados destinados à utilização em argamassas e concretos de cimento Portland, estabelece critérios relacionados às características e às condições de emprego desses materiais. O atendimento aos requisitos normativos é importante para assegurar que a incorporação de resíduos ao concreto seja acompanhada de critérios técnicos capazes de preservar os níveis de qualidade e desempenho necessários à aplicação prevista.

Ferreira (2022) entende que, além das questões ambientais e técnicas, a avaliação da viabilidade dos agregados reciclados deve contemplar os aspectos econômicos envolvidos em sua produção e utilização. Angulo et al. (2022) reforçam que a reciclagem dos RCD pode representar uma oportunidade de reduzir a dependência de agregados naturais e os custos associados à aquisição desses materiais. Contudo, para que essa vantagem seja efetivamente alcançada, devem ser considerados os gastos relacionados à coleta, transporte, separação, processamento, britagem, classificação e controle do agregado reciclado. A viabilidade econômica, portanto, pode variar de



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

acordo com as condições de cada localidade, especialmente em função da disponibilidade de resíduos, da infraestrutura de beneficiamento e da distância entre os pontos de geração e utilização.

A qualidade dos resíduos selecionados constitui igualmente um fator essencial para determinar a possibilidade de aplicação dos agregados reciclados em concretos. A heterogeneidade característica dos RCD pode resultar na presença de diferentes tipos de materiais, alguns dos quais podem prejudicar o desempenho da mistura. Por essa razão, processos como seleção, segregação, britagem e peneiramento são fundamentais para melhorar a uniformidade do agregado obtido. A caracterização das propriedades físicas e granulométricas também permite conhecer o comportamento do material e estabelecer parâmetros mais adequados para sua incorporação ao concreto (Angulo et al., 2022).

A análise da sustentabilidade dessa alternativa deve, portanto, ultrapassar a simples consideração do reaproveitamento do resíduo. É necessário observar as diferentes etapas envolvidas no ciclo de produção e utilização do concreto, incluindo a obtenção do RCD, seu transporte, beneficiamento, incorporação à mistura e aplicação final. Nesse sentido, ferramentas como a avaliação do ciclo de vida podem contribuir para uma compreensão mais ampla dos impactos ambientais, possibilitando a comparação entre diferentes alternativas de produção e utilização de materiais na construção civil (Ferreira, 2022).

Diante disso, Almeida (2017) considera que o emprego de agregado miúdo reciclado na produção de concreto configura-se como uma alternativa que pode associar o aproveitamento de resíduos à redução do consumo de recursos naturais. Contudo, sua adoção deve estar apoiada em critérios técnicos que permitam compreender as alterações provocadas nas propriedades do concreto. A análise do material no estado fresco e endurecido, juntamente com a caracterização dos agregados e o controle dos parâmetros de produção, possibilita identificar as condições nas quais a substituição parcial do agregado natural pode apresentar desempenho adequado. Assim, a viabilidade dessa solução está relacionada à articulação entre requisitos técnicos, condições econômicas e benefícios ambientais, de modo que a utilização dos resíduos ocorra de forma segura, controlada e compatível com a aplicação pretendida.

## 2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza experimental, quantitativa e comparativa, desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho de concretos produzidos com diferentes níveis de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD). A investigação contemplou



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

a caracterização dos materiais empregados, a produção das misturas de concreto e a realização de ensaios destinados à avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido.

Foram produzidas quatro composições de concreto: uma mistura de referência, constituída exclusivamente por agregado miúdo natural, e três misturas experimentais, nas quais o agregado miúdo natural foi substituído por agregado miúdo reciclado nos teores de 25%, 50% e 100%, respectivamente. As propriedades das misturas foram posteriormente comparadas, considerando principalmente a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência à compressão axial nas idades de 7, 14 e 28 dias.

### 2.1. Materiais utilizados

Na primeira etapa da pesquisa foram selecionados, coletados e caracterizados os materiais empregados na produção dos concretos. Foram utilizados cimento Portland CP II-Z-32, agregado miúdo natural, agregado miúdo reciclado proveniente de RCD, agregado graúdo natural e água.

O agregado miúdo reciclado foi obtido a partir de resíduos da construção e demolição fornecidos por uma empresa local, a Kurica Ambiental, buscando-se reproduzir condições próximas às encontradas em situações reais de aproveitamento de resíduos da construção civil.

Após a coleta, o material reciclado foi submetido ao processo de preparação e classificação granulométrica, sendo utilizado como agregado miúdo aquele material com dimensão máxima característica de 4,75 mm, correspondente ao material passante na peneira de abertura de 4,75 mm.

O agregado miúdo natural utilizado como referência foi uma areia disponível comercialmente na região. O agregado graúdo foi constituído por brita natural. A escolha do cimento CP II-Z-32 considerou sua disponibilidade na região e sua utilização corrente na produção de concretos.

Antes da produção das misturas, os agregados foram caracterizados quanto às propriedades físicas consideradas relevantes para a dosagem e interpretação dos resultados, especialmente massa específica e absorção de água.

### 2.2. Caracterização dos agregados

A caracterização dos agregados teve como finalidade determinar suas principais propriedades físicas e fornecer parâmetros necessários à elaboração e à análise dos traços de concreto.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Inicialmente, os agregados foram separados e classificados de acordo com sua natureza, sendo identificados o agregado miúdo natural e o agregado miúdo reciclado. O material reciclado passou por seleção e peneiramento, de modo a garantir sua utilização dentro da faixa granulométrica estabelecida para o agregado miúdo.

Foram determinados, para os agregados miúdos natural e reciclado, os valores de massa específica e absorção de água, propriedades particularmente relevantes no caso dos agregados reciclados, devido à maior porosidade normalmente associada aos materiais provenientes de RCD.

Os resultados obtidos nessa etapa foram utilizados posteriormente na interpretação do comportamento das misturas de concreto, especialmente em relação à demanda de água e à trabalhabilidade.

### 2.3. Dosagem e definição dos traços

A dosagem dos concretos foi realizada considerando-se um consumo fixo de 300 kg de cimento por metro cúbico de concreto. O proporcionamento dos materiais constituintes foi estabelecido a partir de procedimento de dosagem racional, considerando as características dos materiais disponíveis e as propriedades requeridas para as misturas. Como referência teórica para o estudo de dosagem de concretos de cimento Portland, foram adotados os procedimentos apresentados por Tutikian e Helene (2011), que abordam a determinação das proporções adequadas entre cimento, água e agregados, considerando as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

Foi adotado um traço de referência, sem substituição do agregado miúdo natural, e três traços experimentais contendo diferentes percentuais de substituição por agregado miúdo reciclado. Os níveis de substituição estabelecidos foram de 25%, 50% e 100%, determinados em relação à massa do agregado miúdo natural.

A relação água/cimento foi inicialmente fixada em 0,53, correspondendo a um consumo de água de 181 kg/m³ para os 300 kg de cimento empregados. Como parâmetro de trabalhabilidade, foi estabelecido um abatimento de 10 ± 2 cm.

A composição das misturas é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1**. Constituintes dos traços de concreto

| Item | Ref. | 25% | 50% | 100% |
|---|---|---|---|---|
| Cimento | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Água Calculada | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Areia Nat. | 920,2 | 690,15 | 460,1 | 0 |



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Areia RCD | 0 | 230,05 | 460,1 | 920,2 |
| Brita Nat. | 1080 | 1080 | 1080 | 1080 |
| Slump | 10±2 | 10±2 | 10±2 | 10±2 |
| A/C | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 0,53 |

Fonte: Elaborada pelo Autor (2025).

A adoção de diferentes teores de substituição permitiu analisar o comportamento do concreto à medida que aumenta a participação do agregado reciclado, possibilitando a comparação entre o concreto convencional e as misturas contendo RCD.

**2.4. Produção dos concretos**

Após a definição dos traços, os materiais foram previamente preparados e pesados individualmente, de acordo com as quantidades estabelecidas para cada mistura. A produção dos concretos foi realizada em condições controladas, procurando-se manter os mesmos procedimentos de mistura para todas as composições.

Os componentes foram adicionados à betoneira de maneira a promover uma adequada homogeneização da mistura. Para cada traço, foram mantidas constantes as quantidades de cimento, agregado graúdo e água inicialmente previstas, variando-se apenas a proporção entre o agregado miúdo natural e o agregado miúdo reciclado.

Considerando-se a maior capacidade de absorção de água do agregado reciclado, a condição de umidade dos agregados foi considerada durante a preparação das misturas. Essa característica é importante porque a água absorvida pelo agregado pode modificar a quantidade de água efetivamente disponível para a hidratação do cimento e, consequentemente, influenciar a consistência e a trabalhabilidade do concreto.

Após a mistura, o concreto fresco foi submetido aos ensaios de trabalhabilidade e, posteriormente, utilizado para a moldagem dos corpos de prova destinados ao ensaio de resistência à compressão.

**2.5. Ensaios no estado fresco**

A determinação da densidade dos agregados miúdos natural e reciclado foi realizada por meio do ensaio do frasco de Chapman, conforme os procedimentos descritos na ABNT NBR 9776:1987 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Complementarmente, consideraram-se os conceitos e definições estabelecidos pela ABNT NBR 16916:2021 – Agregado miúdo – Determinação da densidade e



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

da absorção de água, norma atualmente vigente para a caracterização física de agregados miúdos.

O ensaio possibilitou obter os valores de massa específica dos materiais utilizados na composição dos concretos, permitindo comparar o comportamento do agregado natural com o agregado proveniente de RCD.

A determinação dessa propriedade é especialmente relevante para os agregados reciclados, uma vez que sua composição pode incluir diferentes materiais provenientes dos resíduos de construção e demolição e apresentar características físicas distintas das observadas nos agregados naturais.

A absorção de água dos agregados miúdos natural e reciclado foi determinada de acordo com a ABNT NBR NM 30, que estabelece procedimentos para a determinação da absorção de água de agregados miúdos.

O ensaio permitiu identificar a quantidade de água absorvida pelos agregados e comparar o comportamento do material reciclado com o agregado natural. Essa propriedade foi considerada na análise da trabalhabilidade das misturas, uma vez que agregados reciclados podem apresentar maior porosidade e, consequentemente, maior capacidade de absorção de água.

Os resultados obtidos foram utilizados como parâmetro para a interpretação das possíveis alterações na consistência dos concretos produzidos com diferentes teores de substituição.

A consistência dos concretos no estado fresco foi avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*), utilizando-se como referência a ABNT NBR NM 67, que estabelece o método para determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone.

Para cada composição, foi determinado o abatimento do concreto fresco, tendo-se como referência o valor de 10 ± 2 cm estabelecido para as misturas.

O ensaio permitiu verificar a influência da substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado sobre a consistência e a trabalhabilidade do concreto. Os resultados foram comparados entre os diferentes teores de substituição, buscando identificar possíveis alterações associadas ao aumento da quantidade de agregado reciclado.

Quando necessário, eventuais ajustes na quantidade de água foram registrados, de modo que qualquer alteração na relação água/cimento fosse considerada posteriormente na interpretação dos resultados.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Além da determinação quantitativa da consistência pelo ensaio de abatimento, foi realizada uma avaliação complementar do comportamento do concreto fresco durante sua produção e moldagem.

Foram observados aspectos como coesão da mistura, facilidade de mistura, homogeneidade, facilidade de adensamento, segregação e exsudação, além da facilidade de manuseio durante a moldagem dos corpos de prova.

A avaliação visual e tátil foi utilizada como procedimento complementar aos resultados obtidos no ensaio de abatimento, permitindo uma análise qualitativa das características de cada composição.

**2.6. Moldagem e cura dos corpos de prova**

Para a avaliação da resistência à compressão foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro, conforme os procedimentos normativos aplicáveis à moldagem e à preparação de corpos de prova de concreto.

Foram produzidos corpos de prova para cada uma das quatro composições estudadas: referência, 25%, 50% e 100% de substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado.

Para cada composição foram utilizados dois corpos de prova em cada idade de ensaio, correspondentes aos períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Dessa forma, considerando quatro traços, três idades e dois corpos de prova por condição, foram confeccionados 24 corpos de prova.

Após a moldagem e o período inicial de endurecimento, os corpos de prova foram submetidos à cura submersa em água, permanecendo nas condições estabelecidas até o momento de realização dos ensaios.

Previamente à realização dos ensaios de resistência, os corpos de prova foram preparados de modo a proporcionar condições adequadas para a aplicação uniforme da carga e reduzir possíveis interferências decorrentes de irregularidades em suas superfícies.

**2.7. Ensaio de resistência à compressão**

A resistência à compressão axial foi determinada aos 7, 14 e 28 dias de idade, permitindo acompanhar a evolução da resistência dos concretos ao longo do período de cura. Os corpos de prova foram submetidos à aplicação de carga axial por meio de prensa hidráulica, registrando-se a carga máxima suportada por cada espécime até sua ruptura.

A resistência à compressão foi determinada pela relação entre a carga máxima aplicada e a área da seção transversal do corpo de prova, conforme o procedimento estabelecido pela



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

norma técnica aplicável ao ensaio. Para cada traço e idade de cura foram considerados os resultados dos dois corpos de prova ensaiados, permitindo estabelecer uma comparação entre as diferentes composições.

Os valores obtidos para os concretos com 25%, 50% e 100% de agregado reciclado foram comparados com aqueles obtidos para o concreto de referência. Essa comparação possibilitou verificar a influência do aumento do teor de substituição sobre o desenvolvimento da resistência à compressão.

### 2.8. Tratamento e análise dos resultados

Os resultados obtidos nos ensaios foram organizados em tabelas e gráficos, permitindo a comparação sistemática entre as diferentes composições de concreto. Para as propriedades dos agregados, foram comparados os valores de massa específica e absorção de água do agregado miúdo natural e do agregado reciclado. Para o concreto no estado fresco, foram analisados os resultados do abatimento do tronco de cone e das observações referentes à trabalhabilidade, coesão e homogeneidade das misturas.

No estado endurecido, foram comparados os valores de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, considerando-se os diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado.

A análise buscou identificar tendências de comportamento associadas ao aumento do teor de RCD na mistura, especialmente quanto à eventual redução ou manutenção da trabalhabilidade e da resistência mecânica.

Por fim, os resultados foram confrontados com os requisitos e recomendações estabelecidos nas normas técnicas aplicáveis e com a literatura especializada, visando verificar a viabilidade técnica da utilização do agregado miúdo reciclado na produção de concretos destinados a aplicações não estruturais.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios experimentais permitiram avaliar a influência da substituição parcial e total do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado proveniente de resíduos da construção e demolição (RCD) sobre o comportamento do concreto no estado fresco e endurecido. Foram analisadas quatro composições: concreto de referência, sem agregado reciclado, e concretos com substituição de 25%, 50% e 100% do agregado miúdo natural por agregado reciclado.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise contemplou principalmente a relação água/cimento (a/c), a quantidade de água empregada para atingir a trabalhabilidade estabelecida e a resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias.

### 3.1. Relação água/cimento e resistência à compressão

A Tabela 2 apresenta os valores da relação água/cimento e das resistências à compressão obtidas para os quatro traços estudados.

**Tabela 2**. Resultados dos ensaios de resistência à compressão e relação água/cimento

| Item | Ref. | 25% | 50% | 100% |
|---|---|---|---|---|
| A/C | 0,61 | 0,65 | 0,71 | 0,86 |
| R7 | 14,71 | 13,25 | 11,88 | 8,99 |
| R14 | 17,57 | 17,81 | 15,27 | 13,18 |
| R28 | 23,11 | 23,16 | 18,50 | 17,02 |

**Fonte**: Elaborada pelo Autor (2025).

Os resultados demonstram uma tendência de aumento da relação água/cimento à medida que se eleva o percentual de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado. A mistura de referência apresentou relação a/c de 0,61, enquanto os concretos contendo 25%, 50% e 100% de RCD apresentaram valores de 0,65, 0,71 e 0,86, respectivamente.

Esse comportamento está relacionado, principalmente, às características físicas do agregado reciclado, particularmente à sua maior capacidade de absorção de água. À medida que aumenta a quantidade de agregado reciclado incorporada à mistura, aumenta também a quantidade de água necessária para alcançar a consistência estabelecida para o concreto fresco.

A elevação da relação a/c possui importância direta na análise do desempenho mecânico do concreto. De modo geral, o aumento da quantidade de água disponível na mistura, quando não acompanhado por aumento proporcional no consumo de cimento, tende a resultar em uma estrutura de pasta de cimento mais porosa após o endurecimento, o que pode contribuir para a redução da resistência mecânica.

Esse comportamento pode ser observado de forma mais evidente nos traços com 50% e 100% de substituição. Aos 28 dias, o concreto de referência apresentou resistência média de 23,11 MPa, enquanto os concretos com 50% e 100% de RCD apresentaram, respectivamente, 18,50 MPa e 17,02 MPa.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em termos percentuais, a redução em relação ao concreto de referência correspondeu a aproximadamente 19,95% para o traço com 50% de RCD e 26,35% para o traço com substituição total. Esses resultados indicam que o aumento do teor de agregado reciclado, associado ao aumento da relação a/c, exerceu influência desfavorável sobre a resistência à compressão das misturas.

Entretanto, o comportamento observado no traço com 25% de substituição merece destaque. Aos 28 dias, a resistência média foi de 23,16 MPa, valor ligeiramente superior aos 23,11 MPa obtidos para o concreto de referência. A diferença corresponde a aproximadamente 0,22%, podendo ser considerada muito pequena.

Dessa forma, embora o resultado indique que a substituição de 25% não comprometeu a resistência à compressão nas condições avaliadas, não seria adequado afirmar, apenas com esses dados, que o agregado reciclado promoveu efetivamente um ganho de resistência. A diferença observada é pequena e pode estar relacionada à variabilidade experimental.

Outro aspecto relevante é a evolução da resistência ao longo do período de cura. Para todas as composições, houve aumento da resistência entre 7 e 28 dias, comportamento esperado em concretos à base de cimento Portland. No concreto de referência, a resistência passou de 14,71 MPa aos 7 dias para 23,11 MPa aos 28 dias. No traço com 25% de RCD, os valores evoluíram de 13,25 MPa para 23,16 MPa no mesmo período.

Nos concretos com maiores percentuais de substituição, embora também tenha ocorrido ganho de resistência com o avanço da idade, os valores permaneceram inferiores aos obtidos para o concreto de referência. Isso evidencia a influência conjunta das características do agregado reciclado e das alterações na relação água/cimento sobre o desempenho mecânico das misturas.

### 3.2. Consumo de água e trabalhabilidade

A Tabela 3 apresenta os valores de água calculada, água efetivamente utilizada, relação água/cimento e abatimento obtidos para os diferentes traços.

**Tabela 3**. Consumo de água, relação água/cimento e abatimento dos concretos

| Item | Ref. | 25% | 50% | 100% |
|---|---|---|---|---|
| Água Calculada | 181 | 181 | 181 | 181 |
| Água Utilizada | 184,33 | 196,33 | 214,33 | 257,67 |
| A/C | 0,61 | 0,65 | 0,71 | 0,86 |
| Slump | 10±2 | 10±2 | 10±2 | 10±2 |

**Fonte**: Elaborada pelo Autor (2025)



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

### 3.3. Consumo de água nas misturas

Embora o valor inicial de água tenha sido fixado em 181 kg/m³, verificou-se a necessidade de acréscimo nos traços com agregado reciclado para garantir o abatimento dentro da faixa de 10 ± 2 cm. O consumo real de água aumentou conforme o nível de substituição: no concreto de referência foram empregados 184,33 kg/m³; já nos traços com 25%, 50% e 100% de RCD, os valores foram de 196,33 kg/m³, 214,33 kg/m³ e 257,67 kg/m³, respectivamente.

Esse comportamento evidencia que a maior proporção de agregado reciclado exige incremento de água para manter a consistência. Comparando com o traço de referência, o acréscimo foi de 6,51% para 25% de RCD, 16,27% para 50% e 39,78% para 100%. Essa demanda adicional está diretamente relacionada à maior porosidade e absorção do agregado reciclado, que retém parte da água adicionada, reduzindo a quantidade disponível para a mobilidade da pasta.

### 3.4. Caracterização física dos agregados

Os ensaios mostraram diferenças significativas entre o agregado natural e o reciclado. A massa específica do agregado miúdo natural foi de 2,645 g/cm³, enquanto o reciclado apresentou 2,358 g/cm³, cerca de 10,85% inferior. Essa diferença decorre da presença de partículas menos densas e mais porosas nos resíduos de construção e demolição.

Além disso, o agregado reciclado apresentou maior absorção de água, característica que explica o aumento do consumo observado nas misturas. Assim, quanto maior o teor de RCD, maior a quantidade de água necessária para manter a trabalhabilidade semelhante à do concreto de referência.

Essas propriedades físicas influenciam diretamente o desempenho do concreto, especialmente no estado fresco e endurecido, contribuindo para o aumento da relação a/c e para a redução da resistência à compressão nos maiores níveis de substituição.

### 3.5. Resistência à compressão

A relação entre o teor de RCD, o consumo de água e a resistência mecânica ficou evidente nos resultados. O traço de referência apresentou relação a/c de 0,61 e resistência de 23,11 MPa aos 28 dias. Com 25% de RCD, a relação subiu para 0,65, mas a resistência manteve-se próxima (23,16 MPa). Já com 50% de substituição, a relação a/c atingiu 0,71 e a resistência caiu para 18,50 MPa. Na substituição total, a relação chegou a 0,86 e a resistência reduziu-se para 17,02 MPa.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Portanto, o aumento do teor de agregado reciclado está associado à queda da resistência, especialmente nos níveis de 50% e 100%. Essa redução não se deve apenas ao acréscimo de água, mas também às características intrínsecas do RCD, como porosidade, absorção e qualidade da zona de transição.

### 3.6. Viabilidade para concretos não estruturais

Os resultados indicam que a substituição parcial, especialmente em torno de 25%, é mais favorável, pois mantém a resistência próxima à do concreto convencional e preserva a trabalhabilidade. Nos teores mais elevados, observou-se queda significativa da resistência e aumento da relação a/c.

Assim, o uso de agregado reciclado mostra potencial em aplicações não estruturais, desde que em percentuais moderados e considerando as exigências específicas de cada projeto. Ressalta-se que os resultados são válidos para os materiais e condições experimentais desta pesquisa, não devendo ser generalizados para todos os tipos de RCD ou situações distintas de produção.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa avaliou concretos com substituição parcial e total do agregado miúdo natural por agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD). A caracterização mostrou que o RCD possui menor massa específica (2,358 g/cm³ contra 2,645 g/cm³) e maior absorção de água, impactando diretamente a demanda hídrica das misturas.

No estado fresco, o consumo de água aumentou proporcionalmente ao teor de RCD para manter o abatimento em 10 ± 2 cm, elevando a relação água/cimento de 0,61 (referência) para 0,71 (50% RCD) e 0,86 (100% RCD).

No estado endurecido, todos os traços apresentaram ganho de resistência entre 7 e 28 dias. Contudo, verificou-se redução significativa da resistência à compressão nos maiores percentuais de substituição: 18,50 MPa (50%) e 17,02 MPa (100%), em comparação aos 23,11 MPa do concreto de referência. O traço com 25% de RCD manteve desempenho equivalente (23,16 MPa).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jupira. **Uso de resíduos de construção e demolição (RCD) em pavimentação urbana**: viabilidade técnica do uso e viabilidade econômica da produção do agregado reciclado. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas, 2017.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ANGULO, Sérgio Cirelli; VIEIRA, Luiz de Brito P. de; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de; JOHN, Vanderley Moacyr. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2022.

ANGULO, Sérgio Cirelli *et a*l. **MARE**: manual de aplicação do agregado reciclado. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília: CONAMA, 2002.

BRITO, Higor Costa de; SILVA, Manoel Mariano Neto da. **Meio ambiente e sustentabilidade**: pesquisas, reflexões e diálogos emergentes. Campina Grande: [s. n.], 2023.

DUART, Marcelo Adriano. **Concreto de cimento Portland**: materiais, princípios básicos e controle tecnológico. São Paulo: Marcelo Adriano Duart, 2020.

FERREIRA, Enildo Tales. **Estudo de resíduos da construção civil para concreto estrutural aplicado em lajes pré-moldadas**. Curitiba: Appris, 2022.

GRUDE, Randi Martins. **Gestão sustentável de resíduos**: estratégias e práticas para um futuro verde. Joinville, SC: Clube de Autores, 2024.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2018.

SANTOS FILHO, Manoel Raimundo dos. **Reciclagem dos resíduos de construção civil e demolições – RCD**: análise da viabilidade econômica. São Paulo: Dialética, 2022.

SOUSA, Paulo Henrique de. **O gerenciamento de resíduos de construção e demolição à luz da PNRS** e legislações correlatas. Joinville, SC: Clube de Autores, 2023.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Dosagem dos concretos de cimento Portland**. São Paulo: IBRACON, 2011.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.