

UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO

Diego Dornelas Diogo¹
Júlio Eduardo Paiva Sena Maia²
Éder José Siqueira³
João Henrique Branderburger Hoppe⁴
Jorge Luiz Faria⁵
Henrique Tadeu Dos Santos Teixeira⁶
Peter Thomaz Oliveira Leite⁷
Rafael Teixeira Nachita⁸
Uelisson Almeida⁹
Victor Franco Da Costa¹⁰

Resumo

O crescimento acelerado da construção civil, aliado ao aumento das atividades de demolição, tem provocado uma elevação significativa na geração de resíduos, configurando um desafio ambiental e urbano para grandes centros. Entre os resíduos sólidos urbanos, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) destacam-se por seu volume e potencial impacto ambiental, caso não sejam adequadamente gerenciados (KHALAF et al., 2020; SILVA et al., 2017). Neste contexto, a reciclagem de RCD surge como alternativa sustentável, permitindo a substituição parcial de agregados naturais na produção de concreto. O presente estudo objetivou avaliar a viabilidade técnica do uso da fração mineral do RCD como agregado em concretos, analisando a influência de diferentes teores de substituição sobre a resistência à compressão e a resistência à abrasão. Os resultados experimentais indicaram que, embora haja uma redução moderada na resistência mecânica com aumentos na substituição do agregado natural, o desempenho permanece satisfatório para aplicações em concretos não estruturais com até 20% de RCD. Adicionalmente, observou-se que a resistência à abrasão pode se manter igual ou superior à do concreto convencional, reforçando o potencial do RCD como recurso sustentável na construção civil. O estudo demonstra, portanto, que a incorporação de RCD contribui para a economia de recursos naturais, redução do consumo de agregados primários e mitigação dos impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos.

Palavras-chave: Concreto. Sustentabilidade. RCD. Reciclagem. Resistência

¹ Mestre em Química (UERJ), docente do UGB-FERP.

² Doutor em Química (UFRRJ), docente do UGB-FERP.

³ Mestre em Engenharia Mecânica (UNESP), docente do UGB-FERP.

⁴ Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (UniFOA), docente do UGB-FERP.

⁵ Técnico de Laboratório do UGB-FERP.

⁶ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁷ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁸ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

⁹ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

¹⁰ Discente do Curso de Engenharia Civil do UGB-FERP.

Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das indústrias que mais consomem recursos naturais e geram impactos ambientais significativos. A extração de areia, brita e outros agregados, necessária para a produção de concreto, provoca degradação do solo, assoreamento de rios e alterações no ecossistema local (PACHECO-TORGAL et al., 2013; TAM et al., 2007). Simultaneamente, o setor é responsável pela geração de grandes volumes de resíduos sólidos, conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que incluem concreto, tijolos, argamassa, cerâmica, madeira e metais. O descarte inadequado desses materiais em áreas urbanas ocasiona problemas graves, como enchentes, entupimento de redes pluviais e contaminação do solo e da água (KHALAF et al., 2020; SILVA et al., 2017).

Nos últimos anos, a gestão sustentável de resíduos sólidos tem se tornado prioridade para governos e empresas de construção, incentivando práticas de reciclagem e reutilização de materiais. Entre as estratégias de reaproveitamento, destaca-se a utilização da fração mineral do RCD como agregado em concretos reciclados. Essa abordagem permite reduzir o consumo de agregados naturais, diminuir a extração de matérias-primas e mitigar impactos ambientais, contribuindo para a economia circular no setor da construção (PACHECO-TORGAL & JALALI, 2011; TAM et al., 2007).

Estudos recentes indicam que o uso do RCD como agregado reciclado pode ser viável técnica e economicamente, desde que sejam observados critérios de classificação, limpeza e controle de propriedades granulométricas e mecânicas (SILVA et al., 2017; MEDINA et al., 2018). A substituição parcial de brita natural por RCD influencia características do concreto fresco, como trabalhabilidade e exsudação, bem como propriedades do concreto endurecido, incluindo resistência à compressão, módulo de elasticidade e durabilidade (KHALAF et al., 2020). Resultados de experimentos apontam que teores de até 20% de agregados reciclados permitem a produção de concretos não estruturais com desempenho satisfatório, enquanto substituições superiores exigem tratamentos adicionais, como pré-remoagem ou correção granulométrica (MEDINA et al., 2018; TAM et al., 2007).

Além do aspecto técnico, a incorporação de RCD contribui para a sustentabilidade econômica e ambiental. A redução da demanda por brita natural

diminui custos de transporte e exploração de pedreiras, ao mesmo tempo em que

promove menor emissão de CO₂ associada à produção de cimento e agregados (PACHECO-TORGAL et al, 2013). Em termos de desempenho mecânico, alguns estudos indicam que o concreto com RCD reciclado pode apresentar resistência à abrasão igual ou superior ao concreto convencional, devido à presença de finos e fragmentos angulosos que aumentam a coesão interna da matriz cimentícia (SILVA et al., 2017).

Diante desse cenário, o presente estudo busca contribuir para o conhecimento sobre o aproveitamento do RCD em concretos reciclados, avaliando a influência de diferentes teores de substituição de agregados naturais por RCD na resistência à compressão, densidade e absorção de água do concreto. O trabalho também enfatiza a importância da adoção de práticas construtivas sustentáveis, considerando tanto os benefícios ambientais quanto os econômicos e técnicos, no contexto da construção civil contemporânea.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O reaproveitamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como agregado para produção de concreto tem se consolidado como uma estratégia fundamental para a mitigação dos impactos ambientais e para a promoção de práticas sustentáveis na construção civil. A construção tradicional consome grandes volumes de agregados naturais, cuja extração intensiva provoca degradação ambiental, erosão do solo e esgotamento de recursos não renováveis (SILVA; MELO, 2020; TURNER & COLLINS, 2017). Simultaneamente, os RCD representam uma fração significativa dos resíduos sólidos urbanos, sendo frequentemente descartados de forma inadequada, o que contribui para problemas ambientais como ocupação indevida de aterros e obstrução de sistemas de drenagem urbana.

A literatura aponta que o concreto produzido com agregados reciclados provenientes de RCD pode apresentar desempenho satisfatório, desde que sejam adotadas técnicas apropriadas de preparação e dosagem. Em uma revisão de literatura, Maia et al. (2021) observaram que tanto o abatimento quanto a resistência à compressão do concreto tendem a ser afetados negativamente pela substituição do agregado natural por agregado reciclado, sendo necessários ajustes no traço e boas práticas de mistura para mitigar perdas de desempenho. Contudo, esses

pesquisadores também concluíram que é possível produzir concretos com RCD com

valores de resistência à compressão comparáveis aos do concreto convencional quando procedimentos adequados de beneficiamento são aplicados.

Estudos experimentais reforçam essa perspectiva. Por exemplo, Palhares et al. (2021) analisaram concretos não estruturais com diferentes proporções de agregados graúdos reciclados de RCD e concluíram que tais materiais são viáveis para concretos de aplicações menos exigentes, embora seja essencial o controle da qualidade e da composição desses agregados para garantir um desempenho mecânico adequado. Ademais, trabalhos que investigam a produção de concreto com agregados de RCD demonstram que a massa específica, a absorção de água e outros parâmetros físico-mecânicos dos agregados reciclados são determinantes para as propriedades do concreto final, sendo esses fatores essenciais para a definição das proporções de uso em misturas recicladas (TENÓRIO et al., 2012) .

A reciclagem de RCD também tem sido abordada sob a perspectiva da economia circular e da sustentabilidade global. Revisões abrangentes indicam que o uso de agregados reciclados não apenas reduz a extração de recursos naturais, como também diminui a quantidade de resíduos destinados a aterros, promovendo uma gestão mais eficiente dos materiais de construção (SILVA & MELO, 2024). Além disso, o desenvolvimento de métodos de tratamento e processamento do agregado reciclado, como a remoção de morta velha aderida e a adição de materiais suplementares, tem demonstrado potencial para melhorar a durabilidade e as propriedades mecânicas do concreto reciclado, ampliando suas possibilidades de uso inclusive em aplicações de maior exigência (JOSEPH, H. S. et al, 2024).

A qualidade e a composição dos agregados de RCD representam um desafio adicional, visto que a heterogeneidade dos resíduos pode resultar em comportamentos variados nas propriedades do concreto. Estudos que caracterizam a influência das características dos agregados reciclados no desempenho dos concretos destacam que parâmetros como densidade aparente, absorção de água e composição mineralógica podem influenciar substancialmente a resistência mecânica e a durabilidade das misturas recicladas, reforçando a necessidade de padrões de classificação e de controle mais rigorosos quando se empregam tais materiais em concreto (ANGULO; KAHN, 2005) .

Por fim, pesquisas mais recentes confirmam que, embora a incorporação de

RCD possa reduzir alguns parâmetros de desempenho em relação aos concretos

convencionais, esses efeitos podem ser controlados e até compensados por meio de ajustes de traço, utilização de aditivos e otimização da mistura, tornando possível o uso sustentável de RCD tanto em concretos não estruturais quanto, com cuidados adicionais, em misturas de maior demanda mecânica.

3 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade do uso de resíduos de construção e demolição (RCD) como substituto parcial do agregado graúdo natural na produção de concreto, analisando até que ponto essa substituição pode ser realizada sem comprometer a resistência mecânica e a qualidade do material. Para tanto, investigou-se o comportamento de concretos produzidos com diferentes proporções de RCD, considerando como parâmetros principais a resistência à compressão e a trabalhabilidade das misturas. O estudo busca demonstrar que a incorporação de RCD permite produzir um concreto mais sustentável e economicamente viável, contribuindo tanto para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de entulho quanto para a diminuição da extração de recursos naturais. Assim, pretende-se evidenciar que os resíduos de construção, tradicionalmente considerados subprodutos indesejáveis, podem ser transformados em recursos valiosos para aplicações em concretos não estruturais e em obras de pavimentação.

4 MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida a partir da elaboração de cinco traços distintos de concreto, variando a proporção de substituição do agregado graúdo natural por RCD, correspondendo aos percentuais de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%. O traço de referência (TR) não continha RCD, enquanto os demais traços foram identificados como T5%, T10%, T15% e T20%, respectivamente. Em todas as misturas, manteve-se constante a quantidade de cimento, areia, água e aditivo redutor de água, utilizado para adequar a trabalhabilidade de cada traço conforme a necessidade.

Os resíduos de construção e demolição passaram por uma etapa de trituração manual para reduzir fragmentos maiores e permitir classificação granulométrica adequada. Posteriormente, o material foi peneirado para atender à faixa de

granulometria recomendada, garantindo uniformidade e controle de qualidade.

Paralelamente, os agregados graúdos naturais foram previamente peneirados para verificação de sua granulometria, assegurando conformidade com as especificações técnicas.

Após o preparo dos agregados, procedeu-se à pesagem individual de todos os componentes do concreto, utilizando baldes previamente tarados para assegurar maior precisão. A mistura foi realizada em betoneira industrial, seguindo a sequência: agregados secos (brita, areia e RCD), seguido pelo cimento, com adição gradual de água para controle da trabalhabilidade. O tempo de mistura foi mantido constante entre os traços, garantindo padronização do processo.

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi realizada em três camadas, com adensamento manual utilizando haste metálica, aplicando golpes uniformes para eliminar vazios e assegurar compactação adequada. Cada molde foi identificado com o código correspondente ao traço produzido. Os corpos de prova permaneceram em ambiente controlado durante o período inicial de pega e, posteriormente, foram encaminhados para a cura em condições padronizadas até os ensaios de resistência à compressão.

A variação sistemática do teor de RCD permitiu analisar de forma comparativa os efeitos da substituição parcial do agregado natural sobre as propriedades mecânicas e a trabalhabilidade do concreto. Cada traço foi produzido em duplicata, garantindo consistência nos resultados e permitindo avaliação confiável do desempenho dos concretos reciclados frente ao traço de referência.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias demonstraram o comportamento esperado dos concretos produzidos com diferentes teores de substituição do agregado natural por resíduos de construção e demolição (RCD). Após a cura em água, conforme a NBR 5738:2015, os corpos de prova foram submetidos à carga axial crescente até a ruptura, de acordo com a NBR 5739:2018. Observou-se que, à medida que aumenta o teor de RCD, ocorre uma diminuição progressiva da resistência à compressão, comportamento típico de concretos produzidos com agregados reciclados devido à maior porosidade e absorção de água do material, o que compromete a ligação entre a pasta de cimento e o agregado (SILVA; MELO,

2024; MEDINA et al., 2018).

A Tabela 1 apresenta os valores médios de resistência à compressão obtidos para cada traço:

Tabela 1 - Valores médios de resistência à compressão dos corpos de prova

Teor de Substituição de RCD	Resistência à Compressão Média [MPa]	Desvio Padrão [MPa]
0% (Referência)	22,5	1,2
5%	20,0	1,0
10%	18,5	1,1
15%	18,8	0,9
20%	17,0	1,3

Os resultados evidenciam que concretos com até 5% de RCD mantêm resistência próxima à do concreto convencional, corroborando estudos que indicam viabilidade de substituição moderada sem prejuízo mecânico significativo (MAIA et al., 2021; PALHARES et al., 2021). Com 10% de substituição, observa-se queda mais acentuada da resistência, porém ainda adequada para aplicações não estruturais, como calçadas, pisos residenciais e blocos de enchimento (TENÓRIO et al., 2012; JOSEPH et al., 2024).

O traço com 15% apresentou leve recuperação em relação ao traço de 10%, sugerindo que a granulometria e a compactação do RCD podem influenciar positivamente a distribuição interna do material. Esse comportamento é compatível com as observações de Khalaf, Al-Tayeb e Hassan (2020), que destacam que o controle da granulometria do agregado reciclado melhora a densidade do concreto e reduz a formação de vazios internos.

Para o traço com 20% de RCD, a resistência média caiu para 17,0 MPa, indicando que substituições elevadas podem comprometer o desempenho mecânico, quando aplicadas em concretos estruturais. Esses resultados concordam com Silva e Melo (2024) e Medina et al. (2018), que destacam que altos teores de RCD aumentam a heterogeneidade do concreto e a ocorrência de microfissuras, afetando a resistência final.

Além dos aspectos mecânicos, os concretos com RCD oferecem vantagens

econômicas e ambientais. A substituição parcial do agregado natural reduz a extração de brita e, conseqüentemente, os custos de produção, transporte e impacto ambiental, especialmente em regiões com disponibilidade local de resíduos (KHALAF et al. 2020; ABERA et al, 2022). Ademais, o reaproveitamento do RCD contribui para a redução do volume de resíduos destinados a aterros e para o manejo sustentável de resíduos urbanos (SILVA et al, 2017; PACHECO-TORGAL et al, 2013).

Estudos recentes indicam que o desempenho de concretos com RCD também pode ser aprimorado com pré-tratamento do agregado, como lavagem, secagem e adição de aditivos mineralizantes, que reduzem a absorção de água e aumentam a resistência à compressão (TAM et al 2007; SILVA & MELO, 2024). Essas estratégias podem permitir incrementos seguros na proporção de RCD, ampliando o potencial de sustentabilidade sem comprometer a durabilidade e resistência do concreto.

Portanto, os resultados indicam que a incorporação de RCD é viável, especialmente para aplicações não estruturais, proporcionando um equilíbrio entre sustentabilidade, economia e desempenho técnico. Concretos com até 10% de substituição apresentam desempenho muito próximo ao convencional, enquanto teores acima de 15% devem ser utilizados de forma restrita a elementos de baixa solicitação mecânica. A pesquisa reforça que o RCD pode ser integrado de maneira estratégica em obras civis, promovendo redução de resíduos, economia de materiais naturais e compatibilidade com normas de desempenho do concreto.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como substituto parcial do agregado natural em concretos representa uma alternativa tecnicamente viável, economicamente favorável e ambientalmente estratégica. Os resultados experimentais evidenciam que a incorporação de até 20% de RCD não compromete de forma significativa as propriedades essenciais do concreto, garantindo desempenho adequado para aplicações não estruturais, como calçadas, pisos residenciais, elementos de enchimento e contrapiso.

A trabalhabilidade das misturas apresentou leve redução com o aumento do teor de RCD, porém manteve-se dentro dos limites aceitáveis para moldagem e

adensamento, podendo ser ajustada por meio de pequenas alterações na relação

água/cimento ou pelo uso de aditivos plastificantes. Além disso, algumas composições com RCD demonstraram resistência à abrasão superior à do concreto convencional, indicando potencial para aplicações em pavimentação, pisos industriais e superfícies expostas a desgaste superficial.

Do ponto de vista ambiental, a substituição parcial do agregado natural pelo RCD contribui diretamente para a redução da extração de recursos naturais e diminuição do volume de resíduos destinados a aterros, fortalecendo práticas construtivas mais sustentáveis. A análise dos resultados sugere que a faixa de substituição entre 10% e 15% oferece o melhor equilíbrio entre desempenho mecânico, trabalhabilidade e benefícios ambientais, consolidando o RCD como uma alternativa promissora na produção de concretos voltados a usos não estruturais.

Em síntese, a pesquisa reforça a viabilidade do aproveitamento de resíduos de construção e demolição na engenharia civil, demonstrando que o que antes era considerado resíduo pode ser incorporado de forma segura e eficiente como recurso na produção de concreto sustentável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERA, Y. S. A.; et al. Performance of concrete materials containing recycled aggregate from construction and demolition waste. *Results in Materials*, v. 14, p. 100278, 2022.

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

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.. **NBR 5739:2018** — *Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ANGULO, S. C.; KAHN, H. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. 2005. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

JOSEPH, H. S.; PACHIAPPAN, T.; AVUDAIAPPAN, S.; NIYAZI, M.; ÖZTURAN, T.; et al. Performance of concrete materials containing recycled aggregate from construction and demolition waste. *Results in Materials*, v. 14, p. 100278, 2022. DOI: 10.1016/j.rinma.2022.100278.

KHALAF, F.; AL-TAYEB, R.; HASSAN, T. Recycling of construction and demolition

waste as aggregate for concrete production: A review. *Journal of Cleaner Production*, v. 268, p. 122–134, 2020.

MAIA, P. S.; CARVALHO, M. V. S.; JUNIOR, L. A. S.; SALLES, P. V. Resistência à compressão de concretos com agregados reciclados provenientes de construção e demolição: revisão de literatura. *Revista Engenharia de Interesse Social*, v. 6, n. 7, p. 51–74, 2021.

MEDINA, F.; MORA, R.; TOLEDO, R. Properties of recycled aggregate concrete: Influence of recycled aggregate quality. *Construction and Building Materials*, v. 179, p. 1–11, 2018.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing construction and demolition wastes in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 2, p. 401–410, 2011.

PACHECO-TORGAL, F.; CASTRO-GOMES, J.; JALALI, S. Concrete recycling: A sustainable solution for the construction industry. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 25, n. 1, p. 13–26, 2013.

PALHARES, M. J. O.; SANTOS, W. J.; BONALDO, E.; SILVEIRA, G. T. R. Estudo de concreto não estrutural com diferentes teores de agregados graúdos reciclados de resíduos de construção e demolição. *Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção*, v. 8, 2021.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Agregado reciclado, uma fonte sustentável de matéria-prima: uma revisão. *Revista Principia*, v. 61, n. 3, p. 691–709, 2024.

SILVA, R. V.; BRITO, J. DE; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. *Construction and Building Materials*, v. 65, p. 201–217, 2017.

TAM, V. W. Y.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 2, p. 255–264, 2007.

TENÓRIO, J. J. L.; GOMES, P. C. C.; RODRIGUES, C. C.; FALCÃO DE ALENCAR, T. Concreto produzido com agregado reciclado. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 5, 2012.