UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS

USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (CDW) AS A PARTIAL REPLACEMENT FOR FINE AGGREGATE IN CONCRETE

Anderson Buss Woelffel [1]; Davi Ferreira Zonzini [2]; Juan Carlos Queiroz [3].

[1]Mestre em Engenharia Civil | anderson.buss@faesa.br | FAESA | Vitória, Brasil; [2]Graduando em Arquitetura e Urbanismo | zonzinidavi@outlook.com | FAESA | Vitória, Brasil; [2]Graduando em Arquitetura e Urbanismo | juan.queiroz@aluno.faesa.brl | FAESA | Vitória, Brasil.

Resumo:
O setor da Construção Civil, no Brasil, consome grandes quantidades de recursos naturais não renováveis e gera muitos resíduos sólidos, devido à predominância de processos construtivos convencionais, como o uso de concreto armado moldado *in loco* e vedação com blocos. Dentre os resíduos gerados pelas atividades de construção e eventuais reformas desenvolvidas, destaca-se o resíduo de construção e demolição (RCD). Assim, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da utilização do RCD reciclado em substituição parcial ao agregado miúdo natural na produção de traços de concretos mais sustentáveis. Metodologicamente, foram desenvolvidos três traços, sendo um traço de referência e dois traços com substituição de 25 % e 50 % do agregado miúdo pelo RCD. Foram produzidas em laboratório duas betonadas para cada traço e avaliadas as propriedades dos concretos nos estados fresco e endurecido. Como principal resultado, observou-se que o traço com 25 % de RCD se mostrou satisfatório, apresentando classe de consistência S100 e ganho de resistência à compressão axial e compressão diametral, se comparado ao concreto de referência.

Palavras-chave:
Resíduo de Construção e Demolição; Concreto; Sustentabilidade; Reciclagem; Agregado Miúdo

Abstract:
The Civil Construction sector in Brazil consumes large amounts of non-renewable natural resources and generates a significant volume of solid waste, due to the predominance of conventional construction processes, such as the use of cast-in-place reinforced concrete and block masonry. Among the waste generated by construction activities and occasional renovations, construction and demolition waste (CDW) stands out. Thus, the main objective of this study was to assess the technical feasibility of using recycled CDW as a partial replacement for natural fine aggregate in the production of more sustainable concrete mixes. Methodologically, three mixes were developed: a reference mix and two mixes with 25% and 50% replacement of the fine aggregate with CDW. Two batches of each mix were produced in the laboratory, and the properties of the concretes were evaluated in both fresh and hardened states. As a main result, the 25% CDW mix proved satisfactory, presenting consistency class S100 and an increase in both axial compressive strength and splitting tensile strength compared to the reference concrete.

Keywords:
Construction and Demolition Waste; Concrete; Sustainability; Recycling; Fine Aggregate.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, prevalecem processos convencionais na construção de edificações, em que a estrutura é feita em concreto armado moldado no local e as paredes de vedação em alvenaria de blocos cerâmicos. Essas práticas tradicionais, muitas vezes artesanais e com baixa produtividade da mão de obra, resultam em elevado consumo de matérias-primas e significativa geração de resíduos de construção e demolição (RCD).

O RCD é composto principalmente por rejeitos de concreto, argamassas e blocos de alvenaria, gerados por atividades de construção, demolição e reformas. O manejo inadequado desses resíduos contribui para impactos ambientais negativos e para o aumento de custos no setor da construção civil. Segundo a NBR 10004-1 (ABNT, 2024), esses resíduos são classificados como não perigosos e inertes, exigindo destinação adequada para minimizar riscos ambientais e de saúde pública.

Apesar de avanços na gestão de resíduos, ainda há desafios significativos para reduzir a extração de recursos naturais e ampliar o reaproveitamento de materiais. Estudos recentes indicam que a reciclagem de RCD pode colaborar para a mitigação de impactos ambientais e reduzir o passivo ambiental e os custos relacionados à destinação em aterros sanitários (Bernardes *et al*., 2024).

Diante desse contexto, torna-se relevante investigar alternativas para inserir o RCD na cadeia produtiva da construção civil, promovendo soluções alinhadas a economia e do desenvolvimento sustentável. Com base nisso, o objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade técnica do uso do RCD reciclado industrialmente como substituição parcial do agregado miúdo natural na produção de concretos mais sustentáveis, contribuindo para práticas construtivas com menor impacto ambiental e maior eficiência no uso de recursos.

Do ponto de vista científico, a pesquisa busca compreender de forma quantitativa como a substituição parcial influencia as propriedades mecânicas do concreto, fornecendo dados que possam colaborar para o desenvolvimento de trabalhos futuros para o uso de agregados reciclados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

Segundo a ABRELPE (2022), foram gerados no Brasil cerca de 45 milhões de toneladas de RCD, representando de 54% a 70% do total de resíduos sólidos urbanos em municípios brasileiros de acordo com Dias, Ramos e Florencio (2020). Esses dados evidenciam não apenas a magnitude do problema, mas também, a urgência para a elaboração de estratégias de gerenciamento aos rejeitos.

De acordo com a norma brasileira NBR 10004-1 (ABNT, 2024), os resíduos sólidos são classificados em duas categorias principais, baseados em seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. O RCD enquadra-se como resíduo classe II B, ou seja, não perigoso e inerte. Essa classificação auxilia no gerenciamento técnico e viabiliza a reciclagem e reutilização, entretanto, não dispensa a triagem e análise detalhada do resíduo.

A Resolução Conama Nº 448 (BRASIL, 2012) classifica os resíduos de construção e demolição em passíveis de serem reutilizados ou reciclados como agregados (Classe A) e estabelece diretrizes importantes para sua destinação. Contudo, embora a norma priorize a reciclagem no gerenciamento desses resíduos, ainda faltam mecanismos que garantam o cumprimento na prática em diferentes contextos municipais.

A NBR 15116 (ABNT, 2021a), além de manter as definições e critérios para produção, recepção e uso dos agregados reciclados (miúdos e graúdos), em sua atualização, fornece também novas diretrizes para a inserção dos resíduos na produção de concreto. Dessa forma, é recomendada a aplicabilidade do RCD em traços de concreto para fins estruturais, isso, quando utilizado o agregado reciclado de concreto (ARCO) em substituição de limitada a 20% ao natural. Em concretos não estruturais, é admitido teores de substituição de até 100% da massa de agregados naturais,

também sendo possível utilizar o agregado reciclado cimentício (ARCI) e o agregado reciclado misto (ARM).

Dessuy (2021) apresenta o uso de agregados miúdos reciclados como uma alternativa viável. Este agregado, proveniente de resíduos liberados pela indústria da construção civil, tem-se mostrado promissor quanto aos requisitos para ser utilizado em substituição da areia, especialmente quando incorporado ao concreto.

Apesar disso, Levy (2010) destaca que, pela elevada absorção e porosidade, os agregados reciclados provenientes da fração cerâmica não podem substituir totalmente os agregados naturais, mas sua comercialização para essa função segue em ocorrência sem qualquer alerta ao consumidor.

2.2. APLICAÇÃO DO RCD EM CONCRETOS

Santana *et al*. (2021) avaliaram a viabilidade técnica da produção de blocos de concreto com substituição parcial de RCD para vedação e observou que o bloco com rejeitos não obteve grandes diferenças de resultados comparado ao convencional: no teste de absorção de água, o bloco com resíduos foi 25,31% superior ao valor do bloco convencional; para o teste de absorção de água por capilaridade, não se percebeu tanta diferença entre os concretos, e observando os tempos de 10min para 90min, praticamente dobrou o valor de absorção de água por área; enquanto que para o teste de resistência à compressão obteve-se o valor de 2,84 MPa para o bloco convencional e 1,998 MPa para o bloco de rejeito.

Por outro lado, Santos, Azeredo e Veneu (2020) ao buscarem uma alternativa para a utilização de RCD por meio da produção de concreto, avaliaram a resistência mecânica do traço convencional em comparação ao traço com substituição de 30% do miúdo e 32% do graúdo por agregados de resíduo. Após o rompimento dos corpos de prova, verificou-se que o concreto comum obteve um valor de resistência à compressão média de 30 MPa, enquanto que o concreto com agregado reciclado obteve resistência média de 25 MPa. A menor resistência foi atribuída à heterogeneidade dos agregados reciclados, o que evidencia a variabilidade de composição dos resíduos como um dos principais desafios técnicos. Além disso, os autores sugerem a utilização desses concretos em aplicações não estruturais, o que reforça a necessidade de normas mais flexíveis e adaptáveis às diferentes características do RCD.

Similarmente, Bernardes *et al*. (2024) observaram o comportamento de 4 traços de concreto: Convencional, 20%, 50% e 100% de substituição de agregado miúdo convencional pelo reciclado misto. Verificou-se que o agregado reciclado promoveu uma curva granulométrica mais contínua, o que favorece um maior empacotamento desses agregados em função de sua granulometria variada, o que favorece maior resistência. Os traços 20% e 50% de substituição atingiram os maiores valores de resistência após 28 dias (respectivamente 27,12 MPa e 26,56 MPa), classificando-se como concreto de uso estrutural. Em contrapartida, no traço com resíduo também foi possível perceber maior porosidade e absorção de água, afetando sua trabalhabilidade.

Portanto, a inserção do RCD na construção civil é relevante e têm por objetivo transformar esses resíduos em agregados reciclados, ou seja, materiais com valor de mercado. Tal beneficiamento contribui no combate ao descarte irregular e na escassez de matéria prima dos agregados naturais para compor o concreto, impactando diretamente no desenvolvimento sustentável.

3. MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo foram estruturados de forma a garantir reprodutibilidade e coerência com os objetivos propostos. Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória, de caráter qualitativo, com o intuito de reunir informações sobre a composição, impacto ambiental e possibilidades de aplicação do RCD. Em seguida, desenvolveu-se uma pesquisa experimental em laboratório, com a produção de três traços de concreto: um traço de referência (TR, sem RCD) e dois com substituições parciais de 25% (TR25) e 50%(TR50) do

agregado miúdo natural pelo RCD reciclado. As betonadas foram realizadas em condições controladas, utilizando betoneira de 150 litros, e os concretos foram submetidos a ensaios nos estados fresco e endurecido. Por fim, os dados obtidos foram analisados comparativamente para avaliar o desempenho técnico dos concretos com RCD frente ao traço convencional.

3.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

Para a produção dos traços dos concretos, utilizou-se o cimento Portland CP III 40 RS, sendo, de acordo com a ABNT NBR 16697 (ABNT, 2018), composto de 35% a 75% de escória de alto forno, indicado para obras que necessitam de baixo calor de hidratação, resistência a ambientes com alta agressividade, apresentando propriedades de inibição a reações como álcali/agregado e ataque por sulfatos.

O agregado miúdo utilizado para a realização dos traços de concreto foi o agregado misto, obtido a partir da mistura de 48,5% de areia média e 51,5% de areia fina, sendo elas lavadas e originadas de rio e de jazida, respectivamente, buscando melhorar suas características granulométricas, visando assim um melhor empacotamento. Essa proporção de agregados miúdos foi obtida através da avaliação das massas unitárias de diferentes quantitativos até a obtenção da proporção ideal, com maior massa para o mesmo volume do recipiente adotado.

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0, de origem granítica, comercializada em sacos de 25kg, disponível no mercado capixaba. Foram realizados os ensaios laboratoriais de granulometria, massa unitária e massa específica de agregados.

O RCD reciclado foi fornecido pela empresa capixaba Vila Recicla, Unidade de Beneficiamento de Agregados Reciclados - UBAR, localizada no Município da Serra - ES, uma empresa que atua no gerenciamento de resíduos da construção civil e fornece para o mercado os produtos rachão, solo brita e areia grossa. Neste trabalho, foi utilizado agregado miúdo reciclado, resultante da britagem de restos de concretos, argamassas e blocos.

Os ensaios de granulometria foram realizados conforme a ABNT NBR 17054 (ABNT, 2022), utilizando-se peneiras da série normal. Para a areia e RCD, foram separadas duas amostras secas com 500 g cada; o peneiramento foi realizado por meio de um agitador mecânico de peneiras e, após o procedimento, ocorreu a pesagem de cada peneira para a obtenção do valor das massas retidas. A partir disso, foram calculadas as porcentagens médias, retida e acumulada, a dimensão nominal máxima característica (Dmáx), e o módulo de finura (MF) dos agregados.

Para a determinação das massas unitárias dos agregados miúdos, graúdos e do RCD, um recipiente paralelepipédico foi preenchido em três camadas compactadas conforme orientado pela ABNT NBR 16972 (ABNT, 2021b). A massa específica do agregado miúdo e do RCD foi determinada com o método do frasco de Chapman, conforme padrões normativos; já para o agregado graúdo, realizou-se a determinação através da balança hidrostática. Ambos os procedimentos ocorreram de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 16916 (ABNT, 2021c).

A água utilizada para a realização dos ensaios laboratoriais e para a produção dos traços dos concretos foi água comumente utilizada em laboratório e fornecida pela companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) sendo, limpa, tratada e sem turbidez aparente.

3.2. DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DOS TRAÇOS DOS CONCRETOS

O traço de referência adotado para a produção dos concretos foi determinado a partir do Método de Dosagem do Concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland/ Instituto do Concreto Americano - ABCP/ACI. Inicialmente, calculou-se o Fcj (resistência média de dosagem) para um Fck (resistência característica do concreto à compressão) estipulado de 25 MPa e desvio padrão de 4,0 MPa, obtendo-se Fcj de 31,6 MPa.

O Fator água cimento (A/C) foi definido a partir da curva de Abrams, que estabelece um fator de 0,58 para 31 MPa aproximadamente, considerando-se a resistência de 40 MPa para o cimento Portland. Posteriormente, dando-se continuidade à dosagem, foram calculados os quantitativos de

cimento, agregados graúdo e miúdo e fixação do traço, utilizando-se os resultados obtidos com os ensaios de caracterização dos agregados. Foi determinado o traço de 1:1,82:2,32 em massa.

Foram definidos três traços de concreto sendo primeiro o traço de referência (TR) e dois traços utilizando o RCD, com substituições parciais de 25% (T25) e 50% (T50) do agregado miúdo natural. O consumo de materiais está informado na Tabela 1.

	Cimento	Areia	Brita	RCD	Fator A/C
TR	1	1,81	2,32	-	0,58
T25	1	1,23	2,32	0,41	0,58
T50	1	0,91	2,32	0,90	0,58

Tabela 1: Consumo de materiais em massa (kg).
Fonte: Os autores (2023).

Foram realizadas duas betonadas de concreto por traço em laboratório, sendo utilizada uma betoneira de 150 l. Primeiramente, adicionou-se a brita 0 e 3 litros de água para a lavagem e retirada do material pulverulento da superfície dos agregados, depois o cimento, o restante da água e, por fim, a areia; nos demais traços, repetiu-se o processo com adição do RCD em suas devidas porcentagens. Para que houvesse uma garantia da consistência estipulada para os traços com os resíduos, ajustou-se a quantidade de água para garantir a mesma consistência do traço de referência (Tabela 1) e acrescentou-se a respectiva quantidade de cimento, para não se alterar o Fator A/C definido, aumentando-se isso a quantidade de pasta de cimento. Após a produção dos concretos, foi realizado o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone, o chamado *Slump Test* para verificar a consistência do concreto em seu estado fresco.

3.3. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Para cada traço produzido, foram moldados 12 corpos de prova (CP) com dimensões de 10 x 20 cm. A moldagem foi realizada pelos mesmos operadores. Após 24 h, conforme determinado pela ABNT NBR 5738 (ABNT, 2016), realizou-se o desmolde e identificação dos CPs (Figura 1) e a sua inserção por imersão em cura úmida, permanecendo até as idades de rompimento de 7, 14, 21 e 28 dias.



Figura 1: Aspecto visual de cada traço de concreto produzido.
Fonte: Os autores (2023).

Os ensaios de determinação da resistência à compressão axial ocorreram com o auxílio de uma prensa hidráulica nas dependências do laboratório de ensaios da empresa SuperMix Concreto S/A, após processo de retificação. Para cada idade, foram rompidos 2 corpos de prova por exemplar.

Para a determinação da resistência à compressão diametral, os corpos de prova foram rompidos no laboratório da empresa Consultec, seguindo padrões normativos da ABNT NBR 7222 (ABNT, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os ensaios de granulometria ocorreram conforme foi estabelecido pela ABNT NBR 17054 (ABNT, 2022). Na Figura 2, observam-se os resultados dos ensaios granulométricos dos agregados miúdo natural e RCD.

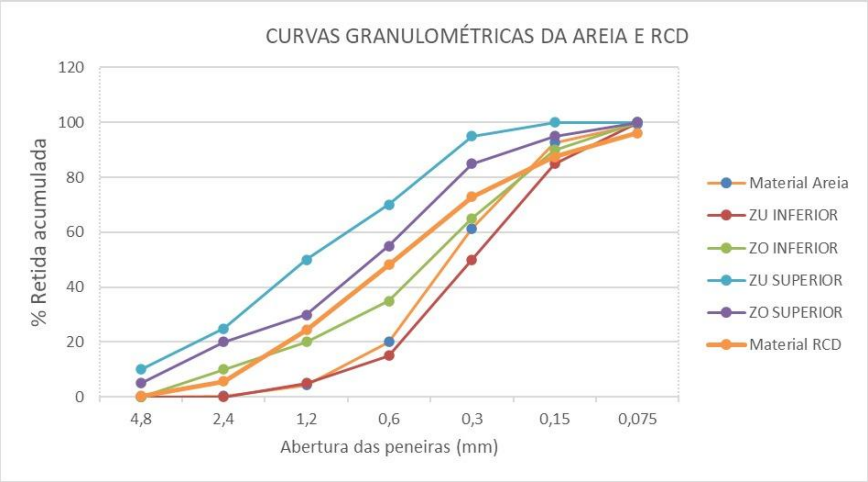


Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo natural e RCD.
Fonte: Os autores (2023).

Os resultados obtidos com a granulometria da areia se mostraram satisfatórios, uma vez que, em sua maioria, compreendem-se entre os limites da zona utilizável inferior e zona ótima inferior. Apresentam predominância de grãos nas peneiras 0,3 e 0,15, caracterizando-se uma amostra mais uniforme de grãos mais finos.

Já a curva granulométrica do RCD apresentou resultados promissores localizando-se, em sua maioria, dentro da zona ótima. Em concordância com os achados de Bernardes *et al*. (2024), que também identificaram que melhoria pode estar relacionada à curva granulométrica mais contínua do RCD, que favorece o empacotamento das partículas e reduz vazios no concreto.

Os resultados dos ensaios de massa unitária e massa específica dos agregados foram, respectivamente, 1.650 kg/m³ e 2.618 kg/m³ para o agregado miúdo natural (areia); 1.568 kg/m³ e 2.790 kg/m³ para o agregado graúdo (Brita 0); e 1.385 kg/m/³ e 2.604 kg/m³ para o agregado de RCD.

Esses ensaios foram realizados com o objetivo de fornecer dados para a dosagem do concreto e estudo do melhor empacotamento visando a redução de vazios nos concretos produzidos, o que colabora com a resistência e durabilidade do material.

4.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS CONCRETOS

O TR obteve ganho de resistência constante ao decorrer dos 28 dias de cura, totalizando, ao final, um aumento de 37,26% em relação à primeira idade de rompimento, com a média dos exemplares em 28,77 MPa. Destaca-se que o concreto da primeira betonada atingiu 31,3 MPa (Tabela 5). Os valores obtidos estão de acordo com o cálculo da dosagem pelo método da ABCP/ACI. Em relação ao *Slump Test*, o TR apresentou Classe de Consistência S100 ($100 \leq A < 160$ mm), conforme ABNT NBR 8953 (ABNT, 2015).

O TR 25, com substituição parcial de 25% da areia pelo RCD, apresentou uma leve queda de resistência aos 21 dias (Tabela 2), mas que não impactou em seu resultado final. Iniciando com, em média, 18,7 MPa, ao final dos 28 dias o traço atingiu 32,09 MPa, totalizando um aumento de 35,49% em sua resistência. Já em comparação com o resultado final do traço de referência, observou-se um aumento 11,53% na resistência à compressão axial com a incorporação de 25% de resíduo. O TR25 apresentou Classe de Consistência S100 (100 ≤ A ＜160 mm), conforme ABNT NBR 8953 (ABNT, 2015), após ajuste necessário na quantidade de pasta de cimento, conforme descrito nos procedimentos.

O TR 50, com substituição parcial de 50% da areia pelo RCD, obteve um ganho de resistência constante ao decorrer dos 28 dias de cura. Iniciando aos 7 dias com 18,76 MPa, em média, e ao final dos 28 dias, o traço atingiu 30,25 MPa, totalizando um aumento de 37,98% em sua resistência. Já em comparação com o resultado final do traço de referência, observou-se um aumento de 5,14% na resistência com a incorporação de 50% de resíduo, ganho de resistência menor que o observado no TR 25. A consistência se manteve na Classe S100, após ajuste na quantidade de pasta de cimento.

A Figura 3 apresenta a evolução das resistências à compressão axial considerando a média dos valores dos exemplares das duas betonadas de cada traço produzido.

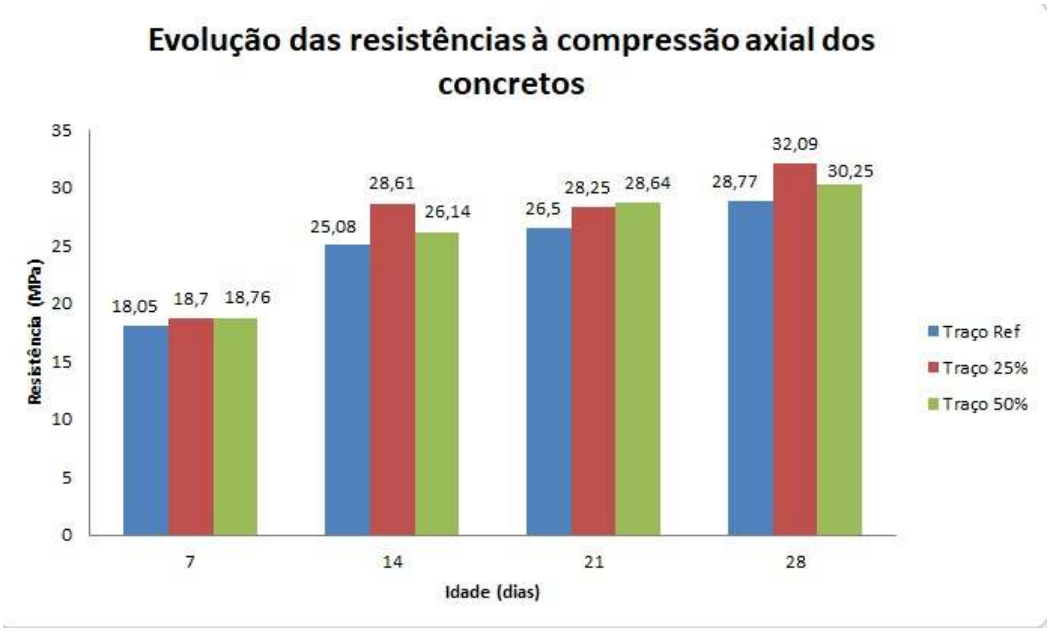


Figura 3: Resultados dos rompimentos dos corpos de prova
Fonte: Os autores (2023).

A Figura 4 apresenta os valores de resistência à tração por compressão diametral dos 02 corpos de prova de cada exemplar dos traços produzidos, nas idades de rompimento de 7 e 28 dias.

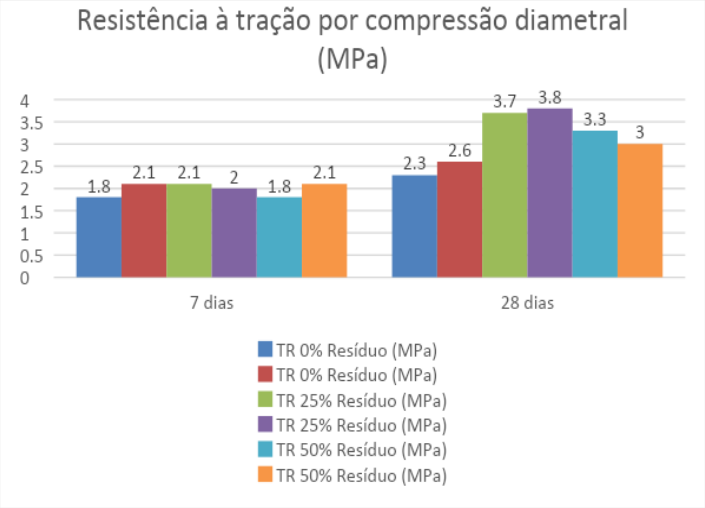


Figura 4: Resultados dos rompimentos dos corpos de prova.
Fonte: Os autores (2023).

Conforme se observa na Figura 4, não houve diferença significativa aos 7 dias entre os traços, levando em conta o valor dos exemplares. Já aos 28 dias, observou-se uma diferença considerável entre os exemplares dos 3 traços, com um ganho de resistência. Comparando-se o traço de referência com o traço com 25 % de RCD, houve um acréscimo de 46,15% na resistência à tração do concreto, sugerindo boa adesão entre a pasta de cimento e o agregado reciclado. Estudos como o de Dessuy (2021) já apontaram essa possibilidade, associando o desempenho à superfície rugosa dos agregados reciclados, que pode promover maior aderência mecânica. Em relação ao traço com 50% de RCD houve um acréscimo de 26,92% na resistência, comparando o resultado dos exemplares. Essa tendência também se observou em relação aos resultados da resistência por compressão axial.

5. CONCLUSÕES

Nos traços produzidos com substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado reciclado de RCD, observou-se aumento da resistência à compressão axial aos 28 dias, com aumento mais significativo para o traço com 25% do que para o traço com 50 %, o que sugere que quantidade elevada de resíduos pode reduzir a resistência do concreto. A distribuição granulométrica mais satisfatória do RCD pode ter contribuído para o ganho de resistência.

A consistência dos concretos, mantida na Classe S100, de acordo com a NBR 8953 (ABNT 2015), demonstra sua possível aplicabilidade em elementos estruturais com lançamento convencional.

Do ponto de vista ambiental, a utilização de RCD contribui para a redução da exploração de recursos naturais não renováveis e minimiza os impactos do descarte inadequado, promovendo práticas construtivas mais sustentáveis. Os dados obtidos também reforçam os estudos de Santos, Azeredo e Veneu (2020) e Oliveira e Farias (2022), que atestam a viabilidade do uso do RCD em elementos não estruturais e blocos de concreto.

Como desdobramentos futuros deste trabalho, sugere-se investigar outros quantitativos de resíduos, com produção de traços de concreto com valores acima de 25 % e abaixo de 50% de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado. Sugere-se também que sejam realizados ensaios para avaliar a absorção de umidade dos concretos produzidos, bem como estudos de viabilidade econômica, de modo a consolidar o uso do RCD como agregado alternativo no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil** 2022. São Paulo: Abrelpe, 2023. Disponível em: https://abespb.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Panorama_residuos_BR_2022.pdf. Acesso em: 17 abr. 2025.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 10004-1**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 15116**: Agregados reciclados para o uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972:** Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BERNARDES, L. C. G.; FERREIRA, E. S.; PEDRO, P. D. T.; NUNES, G. H. Utilização de RCD para produção de concreto de 25 MPa. **RECET - Revista de Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, e012402, 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012**. Brasília: CONAMA, 2012. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?id=652&option=com_sisconama&task=arquivo.download. Acesso em: 3 ago. 2025.

DESSUY, T. Y. **Concretos produzidos com substituição total do agregado miúdo natural por diferentes tipos de agregados miúdos reciclados de resíduos da construção civil (RCC).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266114

DIAS, L. I.R.; RAMOS, E. C.; FLORENCIO, O. Aproveitamento de resíduos da construção e demolição (RCD) na composição de artefatos de cimento e concreto sem e com adição de óxido de grafeno. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1, p.5972-5989, 2021.

LEVY, S. M. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. Ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

SANTANA, A. F. et al. Substituição Parcial na Utilização de Resíduos de Construção Civil na Produção de Blocos de Concreto Convencionais. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade UNA de Catalão. Catalão, 2021. Disponível em:

https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/49246b2f-bcd5-46e1-a980-034f39a81bf4/download

SANTOS, F. S. dos.; AZEREDO, P. H. de A.; VENEU, D. Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 45457-45471, 2020.

AGRADECIMENTOS

Às empresas Vila Recicla, Supermix Concreto S/A e Consultec, pelo suporte técnico na realização dos ensaios; à Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular - Funadesp e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES, pelo suporte financeiro.