

UTILIZAÇÃO DE RCD PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE 25 MPa

USE OF CDW TO PRODUCE 25 MPa CONCRETE

Lucas de Campos Gonçalves Bernardes¹; Eduardo Silva Ferreira²; Paloma Dondo Tonello Pedro³; Gustavo Henrique Nunes⁴

¹ Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil – lucas.bernardes@unemat.br; ² Professor Assistente, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil – ferreira.eduardo@unemat.br; ³ Professora Assistente, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil – paloma.dondo@unemat.br; ⁴ Professor Assistente, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, Brasil; Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Brasil – nunes.gustavo@unemat.br

RESUMO

Uma alternativa para a redução de impactos ambientais associados à construção civil está relacionada ao uso agregados reciclados para a produção de concreto, considerando a substituição de agregados naturais por agregados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD). O objetivo desta pesquisa foi investigar o desempenho de concreto com substituição de agregado miúdo natural por agregado proveniente de RCD. Para isso, além da caracterização do RCD utilizado, foram analisados quatro teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado: 0%, 20%, 50% e 100%. Para avaliação das propriedades mecânicas do concreto, foram realizados ensaios de consistência e de resistência à compressão. Os resultados evidenciaram a viabilidade de utilização de agregados reciclados para a produção de novos concretos, indicando maior resistência à compressão aos 28 dias nas dosagens com 20% e 50% de substituição de agregado comum por agregado reciclado.

Palavras-chave — Agregado reciclado, Materiais cimentícios, RCC, Sustentabilidade.

ABSTRACT

One way of reducing the environmental impact of civil construction is to use recycled aggregates to produce concrete, substituting natural aggregates with aggregates from construction and demolition waste (CDW). The aim of this research was to investigate the performance of concrete with natural fine aggregate substituted by fine aggregate from CDW. For this purpose, in addition to characterizing the CDW used, four rates of replacement of natural aggregate by recycled aggregate were analyzed: 0%, 20%, 50% and 100%. To assess the mechanical properties of the concrete, consistency and compressive strength tests were carried out. The results showed the feasibility of using recycled aggregates to produce new concretes, indicating greater compressive strength at 28 days in the dosages with 20% and 50% substitution of common aggregate by recycled aggregate.

Keywords — Cementitious materials, C&D waste, Recycled aggregate, Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a expansão do setor da construção civil possui muita relevância no Brasil, proporcionando o desenvolvimento socioeconômico do país. Porém, pode-se



afirmar, também, que a construção civil é uma das atividades que geram maior impacto sobre o meio ambiente, sendo que um desses impactos está relacionado à grande geração de resíduos (SOUZA et al., 2004).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), resíduos de construção e demolição (RCD) – ou resíduos da construção civil (RCC) – classe A, são os materiais oriundos da construção, reforma ou demolição de obras de construção civil (BRASIL, 2002). Em 2020, foram coletadas cerca de 47 milhões de toneladas de RCD, que representa aproximadamente 221,2 kg por habitante por ano, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2021).

A geração desses resíduos causa um grande problema para sociedade, pois, geralmente, o descarte é feito de maneira inadequada (Pinto, 1999). Nesse sentido, é necessário que haja um alinhamento da construção civil com as preocupações que circundam o desenvolvimento sustentável.

Uma das alternativas para redução dos impactos ambientais está relacionada à reciclagem de resíduos sólidos da construção civil, para a confecção de concreto – no qual os agregados naturais são substituídos por agregados reciclados. Nesse sentido, outra vantagem ambiental relacionada à utilização de RCD abrange a redução de exploração de jazidas naturais para obtenção de agregados, minimizando a degradação do meio ambiente (Scott, 2006).

Estratégias que possibilitem a concepção de construções mais sustentáveis têm ganhado destaque no Brasil, sendo de extrema importância que a engenharia civil proporcione soluções para redução de problemas ambientais causados pelo setor.

O uso dos agregados reciclados provenientes de RCD em concretos é importante para ampliar o mercado e gerar produtos de maior valor, contribuindo para o aumento dos índices de reciclagem (Angulo, 2005). Diante disso, a utilização de concretos com agregado reciclado apresenta-se como uma interessante alternativa para a área de

engenharia civil, visando a redução dos impactos ambientais associados aos RCD.

Ressalta-se a relevância dos incentivos para que se torne recorrente a utilização de agregados reciclados para fabricação do concreto. É de extrema importância mais estudos e análises que demonstrem o desempenho do concreto com a utilização de agregados oriundos do RCD.

Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo analisar o comportamento mecânico de concretos com substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo proveniente de RCD.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresentam-se os temas e conceitos básicos que circundam o desenvolvimento da pesquisa, além de alguns estudos correlatos.

2.1. Resíduos de construção e demolição

2.1.1. Resolução CONAMA 307/2002

A Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil. A partir desta resolução, o setor da construção civil considera a necessidade de implementar discussões sobre a responsabilidade da destinação do RCD.

Segundo a referida resolução, os resíduos são classificados em quatro classes, sendo as classes A, B, C e D. Para utilização do agregado reciclado oriundo de resíduos da construção civil, delimita-se o uso dos resíduos da categoria A. De acordo com os critérios estabelecidos, representam a classe A resíduos de construção, demolição, reformas, reparos de pavimentação e edificação, componentes cerâmicos, entre outros (BRASIL, 2002).

2.1.2. Destinação de RCD no âmbito do município de Sinop

Atualmente, o município de Sinop não oferece nenhum programa para reciclagem de resíduos oriundos da construção civil. Segundo Medeiros (2022), o depósito da Estrada Adalgisa, recebe os resíduos da construção civil. O local tem regras para orientar o local de descarte e vistoria da carga.

De acordo com o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Consórcio Público de Saúde do Vale do Teles Pires (2021), existem propostas para implementação de uma empresa privada no município de Sinop que pretende receber resíduos de construção civil, com intuito de realizar segregação, britagem e retornar o resíduo para o mercado.

É notável a importância da instalação de um empreendimento para reciclagem de RCD, visto que o município possui mercado de construção civil bastante ativo, com intensa geração de resíduos sólidos (CONSÓRCIO PÚBLICO DE SAÚDE DO VALE DO TELES PIRES, 2021; PREFEITURA MUNICIPAL DE SINOP, 2021).

2.2. Concreto

O concreto é um material composto, constituído por cimento, agregados (grãos e miúdos) e água. Com intuito de alterar suas propriedades, o concreto pode conter aditivos químicos e adições minerais (Bastos, 2019).

De acordo com Pedrosa (2009), este material de construção apresenta grande destaque no cenário da construção civil, devido as suas propriedades, como moldabilidade, resistência à água e plasticidade.

2.2.1. Traço e dosagem

De acordo com Lara (2013), o traço é uma sequência numérica que representa os componentes do concreto. O cimento é a unidade que inicia a série, ao passo que o último número representa a quantidade de água, em relação ao cimento.

O traço é considerado como um parâmetro muito importante, pois é justamente a proporção entre seus materiais constituintes que vai garantir propriedades fundamentais ao concreto, como, por exemplo, resistência, consistência e durabilidade.

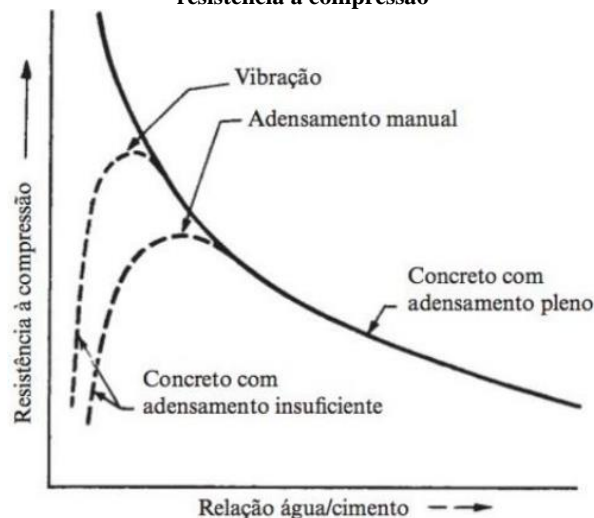
Define-se dosagem como um processo de seleção dos componentes adequados e a determinação de suas proporções para a produção de um concreto, com características e propriedades propícias ao uso (Neville & Brooks, 2013).

2.2.2. Relação água/cimento

A relação água/cimento é expressa pela razão entre as quantidades de água e cimento utilizadas na composição do concreto. Com a utilização de uma relação água/cimento adequada, tem-se a condição de produção de um concreto com as propriedades requeridas, como, por exemplo, boa trabalhabilidade, resistência aos esforços mecânicos e durabilidade (Guimarães & Santos, 1999).

Fundamentalmente, essa relação é associada à Lei de Abrams, que explica que, quando o concreto está plenamente adensado, a resistência do material é considerada inversamente proporcional à relação água/cimento, como ilustra-se na Figura 1 (Neville & Brooks, 2013).

Figura 1. Relação entre a relação a/c do concreto e a sua resistência à compressão



Fonte: Neville e Brooks (2013)

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a relação entre a quantidade de água e a resistência do concreto justifica-se pelo enfraquecimento progressivo da matriz, causado pelo aumento da porosidade devido à água. Em complemento, os autores explicam que, para concretos convencionais, de baixa a média resistência, a porosidade na zona de transição da interface da matriz cimentícia é muito determinante na resistência do concreto.

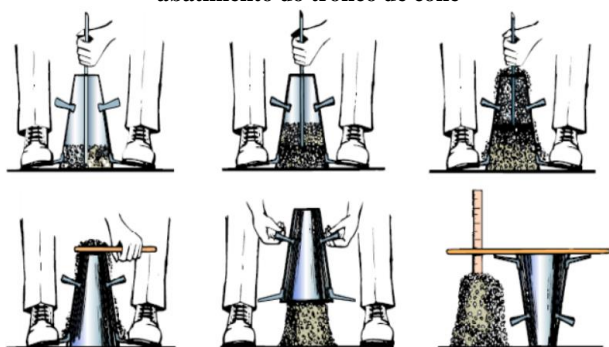
2.2.3. Consistência

Conforme Helene e Andrade (2010), a consistência é uma das principais propriedades do concreto, que pode ser definida como a maior ou menor capacidade do material se deformar sob a ação da sua própria massa. Em

outras palavras, pode-se descrever que a consistência é a propriedade que define a característica de trabalhabilidade requerida para o concreto, conforme as técnicas de lançamento e aplicação do material.

A NBR 16889 (ABNT, 2020) define o método de ensaio para determinação da consistência do concreto fresco pela medida de seu assentamento, a partir do ensaio de abatimento do tronco de cone, ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone



Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

2.2.4. Resistência à compressão

A resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) é um dos parâmetros mais importantes no cálculo estrutural e o principal parâmetro de qualidade do material no estado endurecido (Mehta & Monteiro, 2014).

De acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015), os concretos para fins estruturais são classificados em dois grupos, conforme a resistência característica à compressão, como mostra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT (2015)

2.3. Agregados

Agregados para concreto são materiais minerais sólidos e inertes que são utilizados

para a fabricação de produtos artificiais resistentes. De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2022), os agregados para concreto devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis, estáveis e que não interfiram no endurecimento e hidratação do cimento.

Os agregados apresentam grande importância no preparo do concreto, pois constituem cerca de 70% a 80% da sua composição, e porque influenciam em várias de suas propriedades (Bastos, 2019).

Além da influência da relação a/c, definida anteriormente (ver item 2.2.2), destaca-se que os demais materiais utilizados na composição do concreto também afetam a sua resistência. Nesse sentido, considerando a interface de ligação à matriz cimentícia, os agregados – que constituem o esqueleto granular – configuram um crucial fator de análise das propriedades do concreto (Leite, 2001).

2.3.1. Granulometria

A NBR 7211 (ABNT, 2022) define parâmetros para classificação dos agregados em graúdos e miúdos, conforme sua característica granulométrica.

O agregado graúdo refere-se ao material cujo grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Enquanto isso, o agregado miúdo refere-se o agregado em que grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na de malha de 0,075 mm.

2.3.2. Massa específica e massa unitária

A massa específica é definida como a massa do material por unidade de volume, excluindo os poros permeáveis. É uma propriedade muito importante para a dosagem do concreto, pois possibilita calcular o consumo de materiais utilizados para produção das misturas (Leite, 2001).

Enquanto isso, massa unitária é a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume, incluindo os vazios. A importância do conhecimento da massa unitária aparente vem da necessidade de transformar um traço em massa para volume e vice-versa (Lara, 2013).

Geralmente, os valores da massa específica e massa unitária dos agregados reciclados são menores em relação ao agregado natural (Cabral, 2007).

2.3.3. Agregado reciclado

Conforme a NBR 15116 (ABNT, 2021), define-se agregado reciclado como um material granular proveniente do processo de beneficiamento de resíduos de construção – resíduos da classe A (BRASIL, 2002).

Ainda segundo a NBR 15116 (ABNT, 2021), o agregado reciclado proveniente de concreto pode ser utilizado em elementos com função estrutural, com substituição limitada a 20% de agregados totais, considerando concretos de classe máxima C20 (ABNT, 2015), aplicado em situações de classes de agressividade I e II.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a classe de agressividade ambiental I é considerada uma agressividade fraca, para ambientes rurais, na qual o risco de deterioração da estrutura não é significativo. A classe de agressividade ambiental II é considerada uma agressividade moderada, para ambientes urbanos, na qual o risco de deterioração da estrutura é pequeno.

Cumprir destacar que, quando os agregados reciclados forem destinados à fabricação de concretos não estruturais, sugere-se a substituição de até 100% de agregados naturais (ABNT, 2021).

2.4. Estudos correlatos

No estudo realizado por Gonçalves (2007), foi efetuada a utilização de resíduos da indústria cerâmica para produção de concretos. O resíduo era proveniente de uma indústria cerâmica de produção de tijolos furados localizada em Itaboraí, Rio de Janeiro. Os resultados indicaram que a presença de resíduo cerâmico não influenciou significativamente nas resistências à compressão e à tração do concreto, permitindo concluir que a ideia é uma interessante alternativa de destinação dos resíduos.

Borges, Almeida e Lobo (2019) obtiveram resultados viáveis para substituição de agregados naturais por RCD no preparo de

concretos para diversas aplicações. Foram produzidos concretos com agregados reciclados nos teores de 20%, 40% e 100%, e houve um preparo do concreto convencional com 100% de agregado graúdo natural, como parâmetro de referência. Foram produzidos quatro traços com valores distintos de substituição de agregado natural pelo RCD para melhor análise dos resultados. Com a utilização dos resíduos de construção, percebeu-se que algumas propriedades mecânicas do concreto não apresentaram variação significativa. O concreto com 20% de RCD mostrou-se apto para a execução de obras provisórias e calçadas.

Leite e Costa (2014) obtiveram resultados satisfatórios na produção de novos concretos a partir da utilização de agregados reciclados de concreto pré-moldado. Para análise dos resultados, foram produzidos concretos fazendo a substituição de 50% do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto. O agregado graúdo reciclado era proveniente de resíduos de concreto de uma fábrica de pré-moldados localizada na cidade de Amélia Rodrigues, Bahia. Os resultados desse estudo indicaram que a resistência à compressão e a resistência à tração de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado não foram afetadas; além disso, o estudo destaca que a substituição fornece vantagens econômicas por causa da reciclagem de resíduos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção descrevem-se os procedimentos relacionados à obtenção e especificação dos materiais, bem como à produção do concreto e realização dos ensaios.

Os experimentos apresentados neste artigo foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unidade Jardim Imperial, Câmpus de Sinop).

3.1. Resíduos de construção e demolição

O RCD utilizado no experimento foi coletado em duas obras, em Sinop. Uma delas sendo a construção do Residencial Infinity, localizado no bairro Jardim Ipanema, e a outra

sendo a reforma de algumas salas do Câmpus da UNEMAT, Unidade Jardim Imperial.

Os resíduos selecionados, incluindo materiais cerâmicos, argamassas e concreto em geral, – classe A (CONAMA, 2002) – foram triturados com equipamento Permaq TB020 (Figura 3), disponibilizado pela UNEMAT. Na Figura 4 mostra-se o agregado reciclado triturado.

Figura 3. Processo de trituração do RCD



Fonte: os autores (2023)

Figura 4. Agregado reciclado triturado



Fonte: os autores (2023)

O cimento Portland utilizado foi do tipo CP-V, de alta resistência inicial (ABNT, 2018a), da fabricante Ciplan. A brita e a areia utilizadas no

experimento foram disponibilizadas pela UNEMAT, no Laboratório de Materiais de Construção. A água utilizada foi a de abastecimento do laboratório, fornecida pela concessionária Águas de Sinop (Aeagea).

3.2. Resíduos de construção e demolição

Para o desenvolvimento do estudo, os traços especificados por Barboza e Bastos (2008) foram utilizados como referência, com ajustes no fator a/c. Na Tabela 2 mostram-se a dosagem e quantidade ajustada dos traços utilizado nesse estudo. Destaca-se que, na última dosagem, foi necessário adicionar mais água na mistura, por causa da grande quantidade de RCD, com intuito de proporcionar um concreto homogêneo.

Tabela 2. Traços para 25 MPa

Dosagem (% RCD)	Cimento (kg)	Areia (kg)	RCD (kg)	Brita (kg)	Fator a/c
0%	1	2,9	0	2,95	0,75
20%	1	2,32	0,58	2,95	0,75
50%	1	1,45	1,45	2,95	0,75
100%	1	0	2,9	2,95	0,90

Fonte: adaptado de Barboza e Bastos (2008)

3.3. Produção do concreto e ensaios

Para a quantificação dos materiais, utilizou-se balança Líder LD1050, e para a mistura dos materiais, utilizou-se betoneira CSM CS 145, de 145 L. Para a moldagem dos corpos-de-prova, foram utilizados moldes metálicos e moldes de PVC, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), como mostra-se na Figura 5.

Figura 5. Corpos-de-prova moldados



Fonte: os autores (2023)

Para cada dosagem apresentada na Tabela 2 (0%, 20%, 50% e 100% de RCD), foram moldados dois corpos-de-prova, para rompimento aos 3, 7 e 28 dias de idade, totalizando 24 corpos-de-prova.

Após um dia no molde, os corpos-de-prova foram desmoldados e, depois disso, foram colocados para cura submersa em água (Figura 6), conforme preconiza a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 6. Corpos-de-prova em processo de cura



Fonte: os autores (2023)

3.3.1. Ensaio de massa específica do agregado miúdo

Para o desenvolvimento do ensaio, seguiram-se os procedimentos da NBR 9776 (ABNT, 1987), sendo necessário, porém, utilizar uma proveta convencional, devido à indisponibilidade do frasco de Chapman.

3.3.2. Ensaio de granulometria do agregado miúdo

Para o ensaio, seguiu-se a NBR 17054 (ABNT, 2022). O ensaio foi realizado utilizando duas amostras, tanto para areia quanto para o agregado miúdo reciclado. Foi utilizado o conjunto de peneiras da série normal, sendo elas de malha 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm, 150 µm, além do fundo. Em complemento à obtenção da curva granulométrica, também foram calculados o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados.

3.3.3 Ensaio de consistência do concreto

Para a execução deste ensaio, seguiram-se os procedimentos da NBR 16889 (ABNT, 2020), ensaiando-se o concreto produzido, conforme cada dosagem analisada.

3.3.4 Ensaio de resistência do concreto à compressão

Para a execução deste ensaio, seguiram-se os procedimentos da NBR 5739 (ABNT, 2018b). Após os corpos-de-prova completarem seu período de cura submersa, eles foram rompidos por meio de prensa hidráulica Pavitest 1075, com indicador digital Solotest, disponível no laboratório e apresentada na Figura 7.

Figura 7. Prensa hidráulica Pavitest 1075, com indicador digital Solotest



Fonte: os autores (2023)

4. RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os principais resultados e análises da pesquisa, de acordo com os ensaios de caracterização dos agregados miúdos e de consistência e resistência à compressão do concreto.

4.1. Massa específica do agregado miúdo

Por meio dos ensaios, foram determinados para os agregados miúdos os valores de massa específica apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Massa específica dos agregados miúdos

Agregado miúdo	Massa específica (g/cm ³)
Natural (areia)	2,632
Reciclado (RCD)	2,272

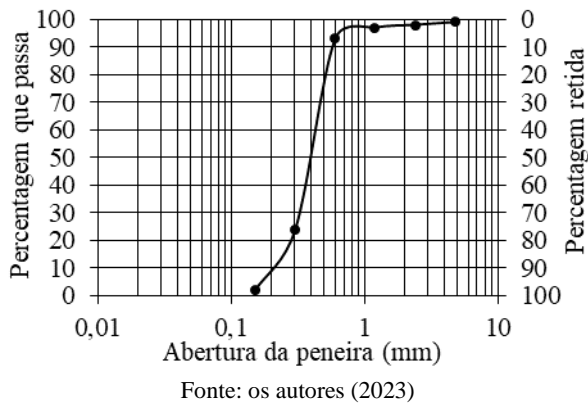
Fonte: os autores (2023)

Nota-se que o agregado miúdo reciclado possui massa específica inferior à do agregado miúdo natural, corroborando Cabral (2007), que define que os valores de massa específica dos agregados reciclados, geralmente, são menores, devido à maior porosidade do material.

4.2. Granulometria do agregado miúdo

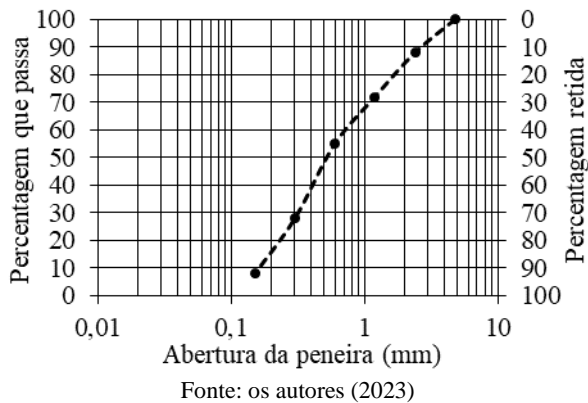
Nas Figuras 8 e 9 apresentam-se as curvas granulométricas, de acordo com os ensaios realizados com os agregados miúdos natural e reciclado (proveniente de RCD).

Figura 8. Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: os autores (2023)

Figura 9. Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado (proveniente de RCD)



Fonte: os autores (2023)

Observa-se que o agregado miúdo natural possui uma curva granulométrica mais uniforme, com a maior parte dos grãos ficando retido na peneira de malha 300 µm. Nesse sentido, o material caracterizado possui módulo de finura 1,86 e dimensão máxima característica 1,18 mm.

Por sua vez, agregado miúdo proveniente de RCD possui uma curva granulométrica relativamente mais contínua, sendo que o material possui módulo de finura 2,49 e dimensão máxima característica 4,75 mm.

4.3. Consistência do concreto

Na Tabela 4 mostram-se os resultados dos ensaios de abatimento (*slump test*) realizados durante o processo de produção do concreto, conforme cada dosagem (Tabela 2). E, na Figura 10, mostram-se alguns registros dos ensaios.

Tabela 4. Abatimento do concreto (*slump test*) para os diferentes teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado

Dosagem (% RCD)	Abatimento (mm)
0%	155
20%	60
50%	65
100%	15

Fonte: os autores (2023)

Figura 10. Realização de ensaios de abatimento do concreto



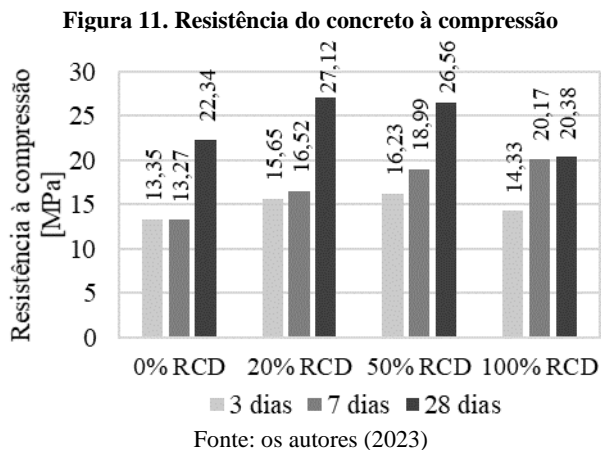
Fonte: os autores (2023)

À medida em que foi acrescentado RCD na mistura, percebeu-se a redução do abatimento do concreto. Esse fato acontece, pois, os agregados reciclados possuem maior porosidade em relação aos agregados naturais, caracterizando que o concreto oriundo de agregado reciclado apresenta menos trabalhabilidade.

De acordo com Leite (2001), nos agregados convencionais, a taxa de absorção de água não exerce quase nenhum tipo de influência nas misturas de concreto, já que estes agregados apresentam baixa porosidade. Por sua vez, os agregados reciclados apresentam maior porosidade e capacidade de absorção de água de amassamento, afetando a trabalhabilidade.

4.4. Resistência do concreto à compressão

Os valores das resistências à compressão, obtidos por meio do rompimento dos corpos-de-prova nas diferentes idades, conforme cada dosagem, são apresentados na Figura 11.



De modo geral, a partir dos resultados apresentados na Figura 11, com o uso de agregado miúdo reciclado na mistura, sobretudo nos teores de 20% e 50%, percebe-se ganho de resistência do concreto nas três idades analisadas. Aos 28 dias de idade, com a cura completa, os concretos com teores de 20% e 50% de agregado miúdo reciclado, alcançaram 27,12 MPa e 26,56 MPa, enquanto o concreto com 100% de agregado miúdo reciclado e o concreto de referência (sem RCD) alcançaram 20,38 MPa e 22,34 MPa, respectivamente.

O ganho de resistência com a incorporação de 20% e 50% de agregado reciclado se deve, principalmente, à composição granulométrica da mistura, tendo em vista que o comportamento mais contínuo dos grãos do agregado reciclado favorece o preenchimento dos vazios do material cimentício. Em outras palavras, a maior quantidade de finos contribui para o fechamento dos vazios, e este fator pode beneficiar a resistência do concreto, uma vez que o agregado miúdo contribui para o aumento da rigidez da matriz.

Nesse sentido, como explica Leite (2001), o agregado reciclado apresenta maior absorção, granulometria mais contínua e forma mais irregular. Esses fatores influenciam no aumento da aderência pasta/agregado; ou seja, a zona de transição de concretos com agregados reciclados, com relações a/c maiores, pode ser

melhor que a zona de transição de concretos convencionais, com proporções semelhantes.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados encontrados, foi possível compreender melhor a influência dos agregados reciclados na consistência e resistência à compressão do concreto. De modo geral, conforme os materiais e método abordados neste estudo, conclui-se que:

a) as análises das propriedades do agregado miúdo reciclado, principalmente, são fundamentais para os estudos de dosagem do material cimentício, considerando que se diferenciam do material natural e influenciam nas propriedades mecânicas do concreto;

b) à medida que há acréscimo no teor de agregado miúdo proveniente de RCD, há redução do abatimento do concreto (alteração na consistência). A taxa de absorção de água pelos agregados tende a ser maior no concreto produzido com agregados reciclados, que, na maioria das vezes, requer maior quantidade de água na mistura;

c) com o uso de agregado reciclado, é possível aumentar a resistência à compressão. A granulometria do agregado miúdo reciclado pode melhorar a composição granulométrica do agregado miúdo natural, preenchendo melhor os vazios – favorecendo o empacotamento das partículas do concreto, de modo que os espaços entre as partículas maiores sejam preenchidos pela classe de partículas menores;

d) o teor de substituição analisado como melhor resultado coincide com o teor máximo de 20% permitido para concretos com função estrutural, como especifica a NBR 15116 (ABNT, 2021). Cumpre destacar, porém, que a referida norma admite o uso de agregados reciclados para concretos com fins estruturais, com resistência máxima de 20 MPa, desde que: sejam agregados reciclados de concreto (ARCO) apenas – sem cerâmica, por exemplo –; o teor de substituição seja, no máximo, 20%; e o concreto seja destinado a ambientes das classes de agressividade I e II, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2021). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018b). NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015). NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987). NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018a). NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio.
- Angulo, S. C. (2005). *Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo.
- Barboza, M. R.; Bastos, P. S. (2008). Traços de concreto para obras de pequeno porte. *Concreto e Construção*, v. 36, p. 32-36.
- Bastos, P. S. S. (2019). Fundamentos do concreto armado. Bauru: UNESP.
- Borges, L. S.; Almeida, F. P. S.; Lobo, F. A. (2019). *Análise da utilização de concretos com agregados reciclados*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade de Rio Verde, Rio Verde.
- Brasil (2002). Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n.º 307, de 05 de julho de 2002.
- Cabral, A. E. B. (2007). *Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo.
- Consórcio Público de Saúde do Vale do Teles Pires (2021). Plano regional de gestão integrada de resíduos sólidos do consórcio público de saúde do Vale do Teles Pires. Sorriso. 176 p.
- Guimarães, L. E.; Santos, D. R. (1999). *Avaliação do módulo de deformação do concreto em diferentes idades e com diferentes relações água/cimento*. Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Gonçalves, J. P. (2007) Utilização do resíduo da indústria cerâmica para produção de concretos. Rem: *Revista Escola de Minas*, v. 60, p. 639-644.
- Helene, P.; Andrade, T. (2010). Concreto de Cimento Portland. In: *ISALA, G. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON.
- Lara, L. A. M. (2013). Materiais de construção. Ouro Preto: IFMG.
- Leite, M. B. (2001). *Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Leite, M. B.; Costa, J. (2014). Estudo da influência do agregado reciclado de concreto de pré-moldados na resistência do concreto. *XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, p. 2643-2652.
- Pedroso, F. L. (2009). Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Concreto e construções*, v. 53, p. 14-19.
- Pinto, T. P. (1999). *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Prefeitura Municipal de Sinop (2021). Prognóstico – Plano Municipal de Saneamento Básico de Sinop/MT. Sinop. 207 p.
- Medeiros, E. (2022). Prefeitura de Sinop. Quase 300 caçambas de entulhos jogados irregularmente foram recolhidas de estradas e terrenos em Sinop. Disponível em: [https://www.sinop.mt.gov.br/Noticias/Quase-300-cacambas-de-entulhos-jogados-irregularmente-foram-recolhidas-de-estradas-e-terrenos-em-sinop-10053/#:~:text=O%20dep%C3%B3sito%20da%20estrada%20Adalgisa,na%20secretaria%20de%20Meio%20Ambiente](https://www.sinop.mt.gov.br/Noticias/Quase-300-cacambas-de-entulhos-jogados-irregularmente-foram-recolhidas-de-estradas-e-terrenos-em-sinop-10053/#:~:text=O%20dep%C3%B3sito%20da%20estrada%20Adalgisa,na%20secretaria%20de%20Meio%20Ambiente.). Acesso em: 20 novembro 2022.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete – Microstructure, Properties, and Materials. 4ª Ed. MC Graw Hill Education.
- Neville, A. M.; Brooks, J. J. (2013). Tecnologia do Concreto. 2ª Ed. Bookman.
- Scott Hood, R. S. (2006). *Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Souza, U. E. L.; Paliari, J. C.; Agopyan, V.; Andrade, A. C. (2004). Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma

abordagem progressiva. *Ambiente Construído*, v. 4, n. 4, p. 33-46.