



ABSORÇÃO DE ÁGUA E MASSA ESPECÍFICA DE AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS DE RESÍDUOS DE CONCRETO

Tawan Mundim de Oliveira*, Mayara Turi Gerin, Aira Mendes dos Reis, Silvana De Nardin

* Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – tawan@estudante.ufscar.br.

RESUMO

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição como agregados tem sido uma estratégia interessante para redução dos impactos ambientais. No entanto, esses agregados apresentam propriedades peculiares que levam a diferenças nas características do material resultante e nas condições de aplicação. Sendo assim, é fundamental compreender as principais características e particularidades desse tipo de agregado. O objetivo deste trabalho é avaliar os valores de absorção de água e massa específica de agregados graúdos e miúdos de resíduos de concreto e compará-los aos valores de agregados naturais de mesma faixa granulométrica. Os ensaios de análise granulométrica para determinação da granulometria, absorção e massa específica dos agregados graúdos e miúdos seguiram as recomendações das normas técnicas brasileiras para agregados naturais. Além disso, também foi obtida uma curva que relaciona a absorção de água de agregados graúdos de resíduo em função do tempo de imersão. Foram observadas diferenças mais significativas entre os agregados miúdos naturais e de resíduos do que entre os agregados graúdos de diferentes origens. Comparando as propriedades dos agregados naturais e reciclados, pode-se observar que a massa específica do agregado graúdo de resíduo é sutilmente inferior ao graúdo natural, mantendo-se acima valor mínimo recomendado pelas normas internacionais para utilização como agregado em novos concretos. Em relação ao agregado miúdo de resíduo, comparando-o ao agregado miúdo natural, a massa específica aumentou em cerca de 3% enquanto a absorção aumentou 62 vezes.

PALAVRAS-CHAVE: agregados reciclados, agregados de RCD, resíduos de concreto, absorção de água, reciclagem de RCD.

ABSTRACT

Construction waste recycling as aggregates has been an interesting strategy for reducing environmental impacts. However, these aggregates have peculiar properties that lead to differences in the characteristics of the resulting material and in the conditions of application. Therefore, it is essential to understand the main characteristics and peculiarities of this type of aggregate. The objective of this work is to evaluate the values of water absorption and density of coarse and fine recycled concrete aggregates and compare them to the values of natural aggregates of the same size distribution range. The particle size tests, water absorption and density of aggregates followed the recommendations of the Brazilian standards for natural aggregates. In addition, it was also obtained a curve that relates the water absorption of coarse recycled aggregates as a function of immersion time. More significant differences were observed between small natural and waste aggregates than between large aggregates from different origins. Comparing the properties of natural and recycled aggregates, it can be seen that the specific mass of the coarse recycled aggregates is slightly lower than the natural aggregates, keeping above the minimum value recommended by international standards for use as aggregate in new concretos. In relation to the fine waste aggregate, comparing it to the natural fine aggregate, the specific mass increased by about 3% while the absorption increased 62 times.

KEY WORDS: recycled aggregates, recycled concrete aggregates, concrete waste, water absorption, construction waste recycling.



INTRODUÇÃO

Resultantes de demolição, do desperdício e do mau gerenciamento dos materiais durante a construção, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem causado grande impacto ao meio ambiente. Em 2018, os RCD representavam mais de 60%, em massa, dos resíduos sólidos coletados pelos municípios brasileiros (ABRELPE, 2019). Dentro desse contexto, a reciclagem de parte desses resíduos tem sido uma estratégia interessante para redução dos impactos ambientais não só pela diminuição do volume depositado em aterros, mas também pela redução de recursos naturais extraídos pela Indústria da Construção Civil.

Na literatura há um volume considerável de estudos envolvendo a reciclagem de resíduos de concreto e sua transformação em agregados para uso em novos concretos (EVANGELISTA e BRITO, 2007; GERIN et al., 2020), argamassa (BRAGA et al., 2012) e blocos de concreto (LINTZ et al., 2012). No entanto, os agregados de resíduos de concreto (ARC) apresentam propriedades peculiares que causam diferenças nas características do material resultante e nas condições de aplicação. Portanto, antes de avaliar a influência dos agregados reciclados no concreto, é fundamental determinar e compreender as principais características físicas e particularidades desse tipo específico de agregado.

Dentre as propriedades físicas, a absorção de água e a massa específica dos agregados de resíduos de concreto são as características que mais os diferenciam dos agregados naturais. A importância da absorção dos agregados reciclados também é reconhecida por códigos normativos estrangeiros, que preveem o emprego de agregados graúdos de concreto em concretos estruturais. As normas alemã (DIN 4226) e de Hong-Kong (WBTC No.12/2002) apresentam, como requisito, absorção máxima de 10%, ao passo que a norma portuguesa (LNEC E41) limita a absorção a 7% (GONÇALVES, 2007). Além da absorção, as normas supracitadas também limitam a massa específica dos agregados graúdos a, no mínimo, 2 g/cm³. Essas limitações denotam a importância da absorção e da massa específica desses agregados para seu emprego na confecção de novos concretos estruturais e justificam estudos voltados para a sua quantificação.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os valores de absorção de água e massa específica de agregados graúdos e miúdos de resíduos de concreto e compará-los aos valores de agregados naturais de mesma faixa granulométrica. Além disso, foi avaliado como essas propriedades físicas são influenciadas pelo tipo de agregado de resíduo de concreto (graúdo ou miúdo).

METODOLOGIA

Neste trabalho foram analisados e comparados os resultados de seis amostras de agregados, organizadas em três diferentes lotes, cada um deles formado por dois tipos de agregado: natural e de resíduo de concreto. A nomenclatura de cada uma das amostras analisadas e seus respectivos lotes estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Nomenclatura das amostras de agregados analisadas

Nomenclatura	Tipo de agregado	Origem	Lote
NA-1	Graúdo	Natural: Basalto	Lote 1
ARCG-1	Graúdo	Resíduo de concreto	Lote 1
NA-2	Graúdo	Natural: Basalto	Lote 2
ARCG-2	Graúdo	Resíduo de concreto	Lote 2
NA-3	Miúdo	Natural: Areia	Lote 3
ARCM-3	Miúdo	Resíduo de concreto	Lote 3

Todos os agregados de resíduos de concreto (ARC) foram produzidos a partir da britagem, em britador de mandíbulas, de corpos de prova cilíndricos de concreto de resistências variadas, utilizados para controle tecnológico. A separação entre agregados graúdos e miúdos foi feita por peneiramento e considerando a peneira com abertura de 4,75 mm.

A seleção dos ARC miúdos apenas pelo peneiramento e separação do material passante na peneira de 4,75mm gerou uma quantidade considerável de agregados com dimensões entre 2,36 mm e 4,75 mm. Em função disso, foi preciso fazer a compensação de modo que fossem respeitados os limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo (de 20% a 25% da peneira com abertura de 2,36mm), sugeridos pela ABNT NBR 7211 (2019). Esse procedimento foi necessário para que o material resultante fosse apropriado para posterior produção de concreto estrutural e que fosse comparável ao agregado miúdo natural.

Quanto aos agregados graúdos, além da eliminação da parcela passante na peneira com abertura de 4,75 mm também foram eliminados os grãos maiores que 9,5 mm. Essa faixa granulométrica dos agregados graúdos de resíduos foi adotada para coincidir com a faixa granulométrica dos agregados naturais correspondentes e para que fosse válida a comparação entre agregados de diferentes origens (natural e reciclado).

Os ensaios para determinação da granulometria, absorção e massa específica dos agregados graúdos e miúdos seguiram as recomendações das normas técnicas brasileiras para agregados naturais conforme Tabela 2. No caso do ARC graúdo (amostras ARCG-1 e ARCG-2, Tabela 1), uma curva que relaciona a absorção de água em função do tempo de imersão foi construída a partir do procedimento recomendado por Leite (2001).

Tabela 2. Normas técnicas para caracterização dos agregados

Propriedade	Agregados graúdos	Agregados miúdos
Determinação da composição granulométrica	ABNT NBR 248 (2001)	ABNT NBR 248 (2001)
Determinação da massa específica	ABNT NBR NM 53 (2009)	ABNT NBR NM 52 (2009)
Determinação da absorção de água	ABNT NBR NM 53 (2009)	ABNT NBR NM 30 (2001)
Determinação da curva absorção vs. tempo	Leite (2001)	-

Seguindo o procedimento descrito na ABNT NBR 248 (2001), os ensaios de composição granulométrica de todos os agregados graúdos foram realizados a partir de duas amostras de 2kg. As amostras foram colocadas sobre a peneira superior de um conjunto de cinco peneiras com as seguintes aberturas de malhas: 2,36mm, 4,75mm, 6,3mm, 9,5mm e 12,5mm. Para determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos foram utilizadas duas amostras de 500g cada uma. Cada uma dessas amostras foi colocada sobre o conjunto de peneiras da série normal definida pela ABNT NBR NM 248 (2003) considerando a sequência de abertura da malha das peneiras a seguir: 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 600µm, 300µm e 150µm, posicionadas em ordem decrescente do topo para a base. O conjunto foi agitado mecanicamente por 10 minutos no peneirador mecânico e o material retido em cada peneira foi separado para determinação da massa. As parcelas de agregado graúdo natural e ARC retidas em cada peneira são apresentadas na Figura 1.

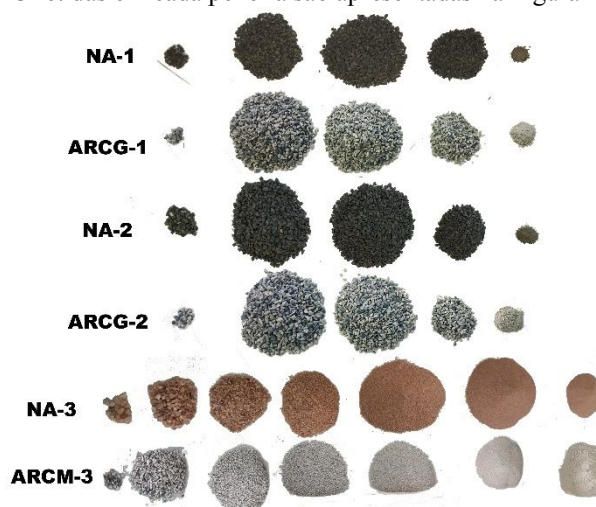


Figura 1. Parcelas de agregados após ensaio de granulometria

A determinação da massa específica e da absorção dos agregados graúdos foi realizada a partir da média de duas amostras com massa de 2 kg conforme procedimento recomendado pela ABNT NBR NM 53 (2009). No caso dos agregados graúdos de resíduo, também foi obtida uma curva que relaciona a absorção de água do ARC em função do tempo de imersão adotando o procedimento recomendado por Leite (2001). De acordo com esse procedimento, uma amostra de 2kg de ARC, seca em estufa, é submergida em água e seu ganho de massa vai sendo registrado durante 24 horas considerando os seguintes períodos: 0 a 1 minuto a cada 30 segundos; de 1 a 10 minutos a cada 1 minuto; 10 a 30 minutos a cada 5 minutos; 30 a 1 hora a cada 10 minutos; 1 hora até 6 horas a cada 1 hora; última leitura realizada as 24 horas (Figura 2).



Figura 2. Ensaio de massa específica e absorção dos agregados graúdos

A massa específica dos agregados miúdos foi obtida conforme procedimento recomendado pela ABNT NBR 52 (2009). Os agregados miúdos são colocados no molde e compactados com 25 golpes de haste de socamento (Figura 3).



a) NA-1



b) ARCM-3

Figura 3. Ensaio de massa específica dos agregados miúdos

RESULTADOS

Na Figura 4 são apresentadas as curvas granulométricas construídas a partir dos valores de porcentagem retida acumulada dos agregados. Verifica-se que os agregados de resíduos se encontram na mesma faixa granulométrica dos respectivos agregados naturais validando as comparações feitas aqui.

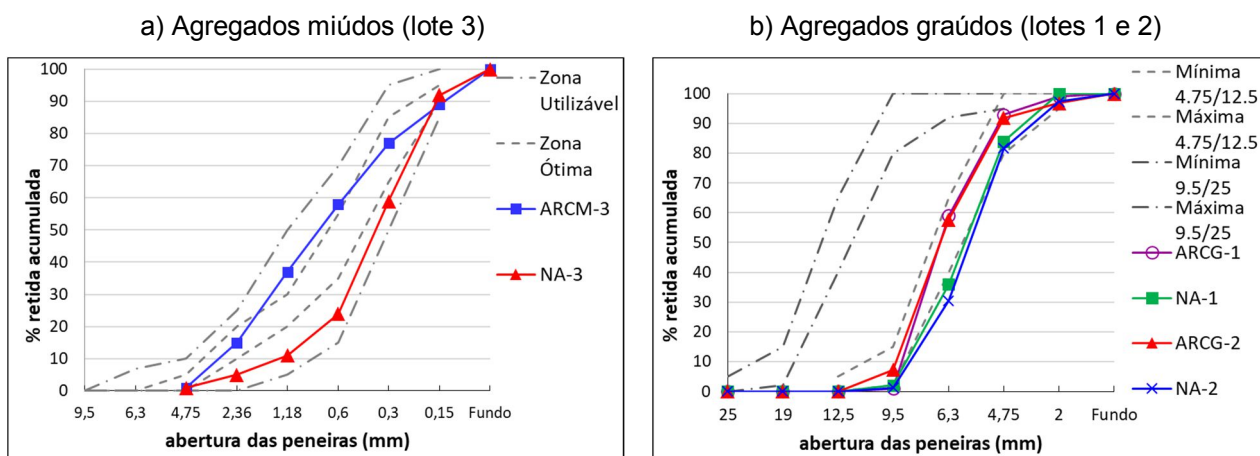


Figura 4. Curva granulométrica das amostras de agregados. Fonte: Elaborado pelos autores.

A dimensão máxima característica e o módulo de finura obtidos no ensaio de caracterização dos agregados miúdos foram, respectivamente, 2,4mm e 1,91 para os agregados naturais e 4,75mm e 2,77 para os agregados de resíduo. De acordo com a ABNT NBR 7211 (2019), a partir desses resultados (Figura 4a), o ARCM-3 foi classificado na zona ótima (com apenas um ponto na zona utilizável superior), enquanto o NA-3 foi classificado na zona utilizável inferior.

Os resultados (Figura 4b) mostram que não há variabilidade significativa entre os agregados graúdos reciclados ou naturais de lotes diferentes. A curva granulométrica do agregado de resíduos está totalmente dentro da faixa especificada para agregados entre 4,75mm e 12,5mm (Figura 4) enquanto o agregado natural está no limite inferior dessa faixa.

Na Tabela 3 são apresentados os principais resultados da caracterização dos agregados, com destaque para a absorção.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos e miúdos

Característica	NA-1	NA-2	ARCG-1	ARCG-2	NA-3	ARCM-3
Massa específica (g/cm ³)	2,85	2,65	2,42	2,27	2,57	2,65
Absorção de água (%)	1,6	4,0	5,7	7,8	0,2	12,5
Dimensão máxima característica (mm)	9,5	9,5	9,5	9,5	2,4	4,75
Módulo de finura	2,22	2,11	2,52	2,54	1,91	2,77

Comparando os resultados dos agregados miúdos (NA-3 e ARCM-3) nota-se que: os agregados de resíduos apresentam massa específica e absorção maiores. Porém, enquanto a massa específica apresenta leve aumento (+3,1%), a absorção é 62,5 vezes maior que no agregado natural miúdo. Essa enorme diferença mostra que esse fator é de suma importância na produção de novos concretos pois irá influenciar diretamente na sua trabalhabilidade. É possível observar que há maiores diferenças entre os lotes de agregados graúdos naturais (NA-1 e NA-2) do que em relação aos de resíduo. Enquanto a massa específica e a absorção variaram, respectivamente, 7,5% e 60% entre os lotes de agregado graúdo natural (NA-1 e NA-2), nos agregados graúdos de resíduo (ARCG-1 e ARCG-2) a variação foi de apenas 6,6% e 3,7% (massa específica e absorção).

O agregado graúdo de resíduo de concreto é formado basicamente por três tipos de componentes: fragmentos de argamassas soltos, agregados naturais com argamassa aderida e agregados naturais provenientes da confecção dos antigos concretos. A argamassa que compõe o ARC possui grande porosidade e fissuras, acarretando espaços vazios que são responsáveis pela diminuição da massa específica dos agregados de resíduos (Figura 5). Já para os agregados miúdos, a composição se dá por fragmentos de argamassas endurecidas e partículas de cimento reagidas ou não. Essas partículas possuem dimensões muito menores se comparadas aos grãos de areia do agregado natural, além de uma massa específica maior. Com isso, o valor da massa específica desse agregado (ARCM-3) é maior que a do natural (NA-3) (Figura 5).

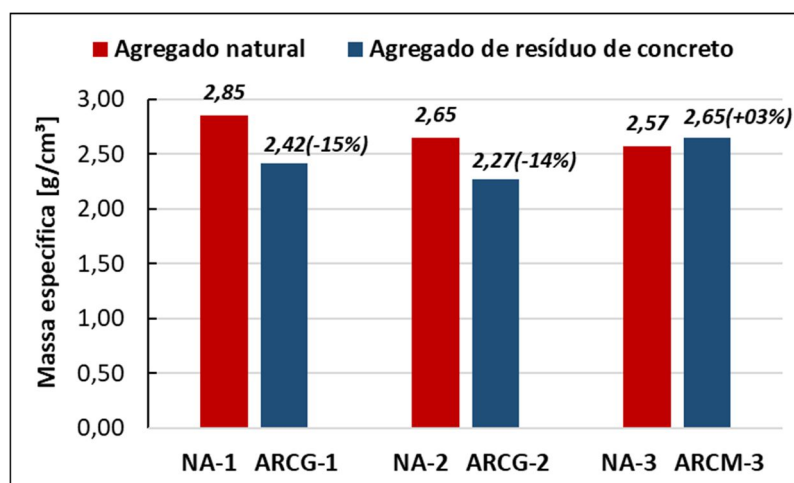


Figura 5. Massa específica dos agregados naturais e de resíduos de concreto. Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com os resultados mostrados na Figura 5, a massa específica dos agregados graúdos de resíduo (ARCG-1 e ARCG-2) é cerca de 15% menor que a do agregado natural graúdo (NA-1 e NA-2). Já a massa específica do agregado miúdo de resíduos (ARCM-3) é cerca de 3% maior que a do agregado miúdo natural (NA-3). Em relação à absorção, comparando os agregados de resíduos aos respectivos agregados naturais de referência, houve aumento de cerca de 256%

para o ARCG-1 e 95% para o ARCG-2 nos agregados graúdos e de 6150% para os agregados miúdos (ARCM-3), ou seja, a absorção dos agregados miúdos de resíduo é significativamente superior à dos agregados naturais (Figura 6).

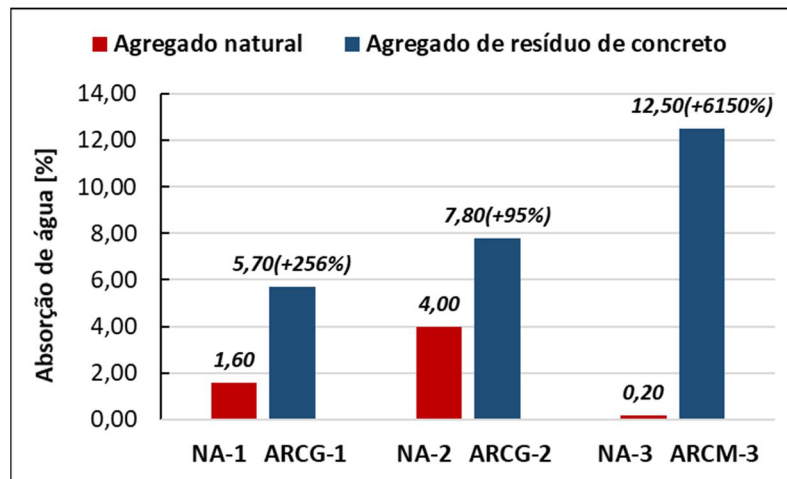


Figura 6. Absorção dos agregados graúdos e miúdos. Fonte: Elaborado pelos autores.

A maior absorção dos agregados de resíduos também pode ser explicada pela sua composição. No caso dos agregados graúdos, a maior quantidade de poros e fissuras é preenchida com parte da água adicionada resultando em maior absorção se comparado aos agregados naturais (Figura 6). Em contrapartida, como o agregado miúdo de resíduo é composto, em sua maior parte, por argamassa, a absorção torna-se muito maior, 6150% maior do que o agregado natural ou 62,5 vezes maior. Essa enorme diferença na absorção dos agregados miúdos natural e de resíduos de concreto deve ser levada em consideração para o uso desse agregado reciclado em novos concretos, sobretudo se forem concretos estruturais.

Uma forma complementar de avaliar a absorção é considerar o percentual de água absorvida ao longo do tempo. No caso dos agregados graúdos de resíduos, uma amostra seca foi submersa em água e o seu ganho de massa foi monitorado em uma balança hidrostática com precisão de 0,5g. Antes de cada leitura o recipiente era agitado cuidadosamente para facilitar a saída do ar presente entre os agregados da amostra. Nos primeiros minutos, em que a absorção de água é mais rápida, a leitura da massa é bem sensível. Dessa forma, a partir do ensaio de absorção em função do tempo foi verificado que os agregados dos lotes 1 e 2 absorveram 50% da sua capacidade de absorção em um tempo de 30 e 3 minutos, respectivamente. No entanto, nas primeiras 3 horas ambos os agregados graúdos absorveram aproximadamente 80% da sua capacidade de absorção (Figura 7). A partir desse tempo, a absorção torna-se bem mais lenta e as taxas de absorção dos dois lotes tornam-se próximas entre si. Nos gráficos da Figura 7 são apresentadas, em pontilhado, as absorções das duas amostradas de cada lote (amostras A e B).

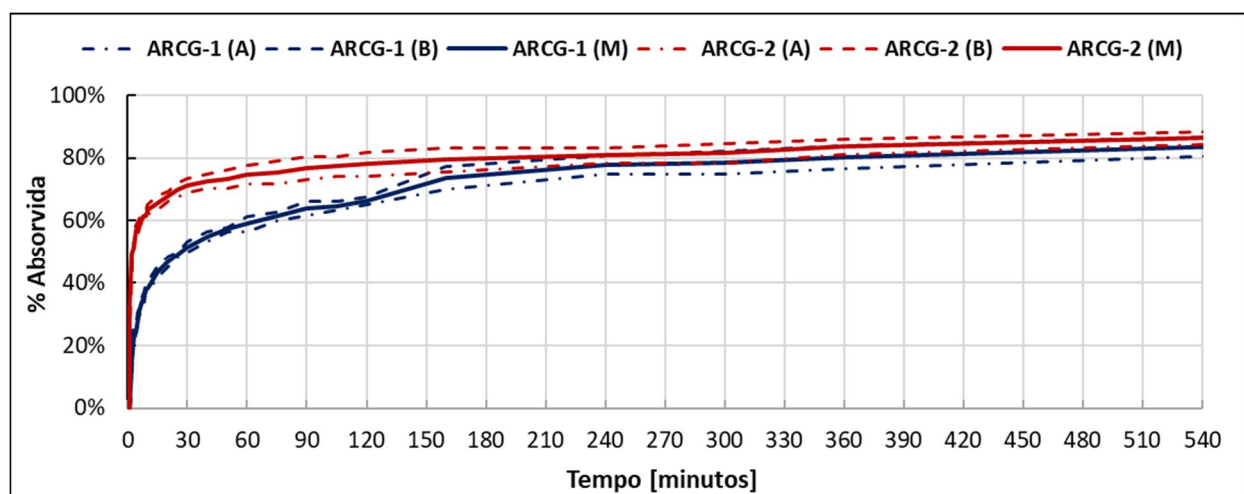


Figura 7. Absorção pelo tempo dos agregados graúdos reciclados. Fonte: Elaborado pelos autores.



CONCLUSÕES

Apesar dos agregados de resíduo de concreto serem reconhecidos pela sua grande variabilidade e heterogeneidade, os lotes de agregado graúdo de resíduo avaliados no presente estudo demonstraram menor variabilidade que os agregados naturais graúdos. Comparando as propriedades dos dois tipos de agregados graúdos, naturais e reciclados, pode-se observar que a massa específica do agregado reciclado é cerca de 15% inferior em relação ao natural. Além disso, as massas específicas dos ARC graúdos (2,42 g/cm³ lote 1 e 2,27 g/cm³, lote 2) estão acima do valor mínimo de 2 g/cm³ recomendado pelas normas internacionais, demonstrando seu potencial de utilização como agregado em novos concretos.

Em relação ao agregado miúdo de resíduo, a massa específica foi maior que a do agregado natural e isso ocorreu devido à composição desse agregado, sendo de cimento hidratado ou não. Já a absorção apresentou um aumento muito significativo, cerca de 62 vezes maior que o agregado miúdo natural. Também foi observado que a absorção dos agregados miúdos de resíduos de concreto (ARC) foi 49 vezes maior que a registrada para os agregados graúdos.

Portanto, conclui-se que tanto agregados graúdos quanto miúdos oriundos de resíduos de concreto apresentam potencial para aplicação em novos concretos, mas como possuem absorção muito maior, podem requerer cuidados adicionais no processo de dosagem e mistura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio para realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018. São Paulo, 2019.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 30**: Agregado miúdo - determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2019.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2019.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53**: Agregados graúdo: determinação da massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
6. BRAGA, M.; BRITO, J. DE; VEIGA, R. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. *Construction and Building Materials*, v. 36, p. 960–968, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.031>>. .
7. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4226-100**: Aggregates for Concrete and Mortar, Part 100: Recycled Aggregates. Germany, 2002.
8. EVANGELISTA, L.; BRITO, J. DE. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, v. 29, n. 5, p. 397–401, 2007.
9. GERIN, M. T.; SALES, A.; NARDIN, S. DE. Mechanical and Physical Properties of Recycled Aggregates Concrete. *Revista Tecnológica*, v. 29, n. 1, p. 259–274, 2020.
10. GONÇALVES, P. C. M. **Betão com agregados reciclados: análise comentada da legislação existente**. Portugal, 2007. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Técnica de Lisboa, 2007.
11. LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em engenharia civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2001.
12. LINTZ, R. C. C.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L.; GACHET-BARBOSA, L. A. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 5, n. 2, p. 166–181, 2012.



13. LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **LNEC E 471**: Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos, Lisboa, Portugal, 2006.
14. WORKS BUREAU TECHNICAL CIRCULAR. **WBTC No.12**: Specifications facilitating the use of recycled aggregates, Hong-Kong, 2002.