



## COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE AGREGADOS RECICLADOS E AGREGADOS NATURAIS

**Roque Rodrigo Rodrigues (\*), Francisco Douglas Castro Costa, Tarcísio Couto Carneiro, Tainara Torres da Rosa, Simon Karoly Tamás**

\*Centro Universitário Dinâmica das Cataratas; roque@udc.edu.br

### RESUMO

O uso de agregados naturais está consolidado na construção civil devido as suas características positivas em relação principalmente a resistência (Neville, 1997). Porém, este material como outros de origem natural, é escasso e substituível. Por isso, atualmente existe um grande esforço na construção civil de encontrar materiais reciclados que possuam propriedades semelhantes aos naturais. Durante a investigação, dois tipos de agregados reciclados de concreto, miúdo (ARCM) e graúdo (ARCG) foram comparados com agregados naturais de andesito e dolomita. Inicialmente, as propriedades dos agregados reciclados foram analisadas e comparadas com os naturais pelos testes de peneiramento, micro-Deval e Los Angeles. Os testes apontaram que os agregados reciclados possuem propriedades próximas aos naturais, indicando sua viabilidade para substituição de agregados naturais em concretos.

**PALAVRAS-CHAVE:** agregados naturais, agregados reciclados, resistência à abrasão

### ABSTRACT

The use of natural aggregates is consolidated in civil construction because they are related mainly to resistance (Neville, 1997). However, this material as others of natural origin, is scarce and replaceable. Therefore, there is currently a great power in the civil construction of recycled materials that had properties equal to the natural ones. During the investigation two types of recycled concrete aggregates (RCA), fine (FRCA) and coarse (CRCA) were compared to natural aggregates out of Andesite/Basalt and Dolomite. At first, properties of the RCA were analyzed and compared to the natural ones by sieve, micro-Deval and Los Angeles tests. The tests pointed out that the recycled aggregates were the closest to the natural ones, exposing their viability for the replacement of natural aggregates in concretes.

**KEY WORDS:** natural aggregates, recycled aggregates, abrasion resistance

### INTRODUÇÃO

O uso de agregados naturais está consolidado na construção civil devido as suas características positivas em relação principalmente a resistência (Neville, 1997). Porém, este material como outros de origem natural, é escasso e substituível. Por isso, atualmente existe um grande esforço na construção civil de encontrar materiais reciclados que possuam propriedades semelhantes aos naturais. Esta pesquisa foi realizada na Hungria, utilizando normas europeias. No Brasil, já existem resoluções federais que normatizam o uso dos agregados reciclados, desde o licenciamento ambiental ao uso na pavimentação. Entre elas pode-se citar a NBR 15112/04, que diz respeito às áreas de transbordo e triagem do material, desde o projeto até a operação e também a NBR 15115/04 que traz os procedimentos de execução de camadas de pavimentação com agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. O Brasil é um dos poucos países latino-americanos que possuem padrões técnicos para o uso de resíduos da RCD como agregados. Portanto, neste país, é possível usar parâmetros e tecnologias padronizados. Em 1998 foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Decreto 12.305) e a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que entrou em vigor em 17 de julho de 2002. São grandes estimulantes para o segmento de reciclagem de resíduos no país, pois contém orientações para a gestão, identificação do gerador, estimativa dos resíduos gerados antes das obras, os setores do governo que são responsáveis pela inspeção, classes de materiais, etc.

### OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo a caracterização de dois tipos de agregados reciclados de concreto. Os agregados ARCM e ARCG foram testados na Universidade de Tecnologia e Economia de Budapeste (Hungria) e observaram seu comportamento como uma substituição total ou parcial do agregado natural no concreto.

Neste artigo analisou-se as características do RCD e dos agregados naturais a partir do teste de peneiramento e de resistência à abrasão, micro-Deval e Los Angeles. Esses dois últimos testes são importantes para conhecer a capacidade



de resistência à abrasão do agregado, que é uma característica relevante a ser levada em consideração na aplicação em calçadas ou pavimentos intertravados.

## METODOLOGIA

O método para a realização da pesquisa consistiu nos ensaios de peneiramento mecânico, Los Angeles e micro-Deval.

- Peneiramento

Para a determinação da distribuição granulométrica dos agregados foi realizado o ensaio de peneiramento, este ensaio tem como objetivo classificar o agregado em função do seu tamanho, gerando uma curva granulométrica. O teste foi feito com agregados naturais (dolomita e andesito e agregados reciclados de concreto ARCM e ARCG).

Coletado o material, este é levado a uma máquina de peneiramento, cuja as sucessivas peneiras foram escolhidas de acordo com cada agregado pela Norma Europeia (do inglês *European Standard* - EN) EN 933-1/2012. O agitador mecânico foi programado para 2 minutos, o material retido em cada peneira foi pesado e o resultado foi registrado.

- Ensaio micro-Deval

De acordo com Hoare (2003), o teste micro-Deval foi usado pela primeira vez na França durante a década de 1960 e foi baseado em seu antecessor, o teste Deval, desenvolvido no início de 1900, que foi usado para avaliar a qualidade dos materiais de lastro de pedra britada. O teste é realizado utilizando esferas de aço e água, produzindo ação abrasiva na superfície dos agregados. O teste fornece uma medida de resistência à abrasão e durabilidade desses materiais. Durante o desenvolvimento do teste, verificou-se que uma degradação mais pronunciada ocorreu na presença de água do que sem. Como complemento, concluiu-se que o teste fornece uma boa medida de tenacidade/resistência à abrasão e durabilidade dos agregados quando submetidos à força de intemperismo.

Atualmente, na Hungria, a norma que regula o ensaio de abrasão por micro-Deval é EN 1097-1 "Ensaio de propriedades mecânicas e físicas de agregados - Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval) - 2011" e descreve o procedimento para determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval) de uma amostra global natural ou artificial pela determinação do coeficiente micro-Deval.

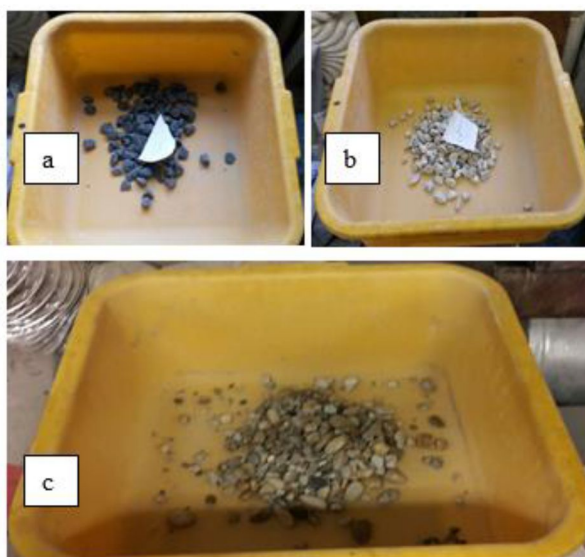
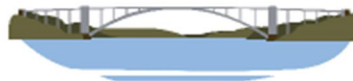
O teste consiste em medir a abrasão (desgaste) e choque (fricção) das partículas de agregado entre 10 e 14 mm, e uma carga de moagem de esferas de aço em um tambor rotativo sob as condições dadas. O desgaste é medido pelo coeficiente micro-Deval correspondente a uma porcentagem da amostra original do agregado retido na peneira de 1,60 mm. Assim, quanto menor o coeficiente micro-Deval, maior será a resistência à abrasão do agregado.

- Materiais e procedimento

Para o ensaio, foram utilizados 500 gramas de ARCM (agregado passante na peneira de 11,2 mm e retida na peneira de 8 mm) e 500 gramas de ARCG (agregado passante na peneira de 11,2 mm e retida na peneira de 8 mm). Já dos agregados naturais, foram um total de 1000 gramas de Dolomita (2 amostras de 500 gramas cada – agregado passante na peneira de 14 mm e retido na peneira de 10 mm) e 500 gramas de Andesito (agregado passante na peneira de 14 mm e retido na peneira de 10 mm). Dentre os itens complementares foram utilizadas esferas de aço de  $10 \pm 0,5$  mm de diâmetro e  $2,5 \pm 0,05$  litros de água.

As amostras foram colocadas em tambores separados. Adicionou-se  $(5.000 \pm 5)$  g de esferas de aço a cada tambor (este valor é aplicável para a faixa de frações de 10 a 14 mm, para outras frações, consulte a tabela C.1 do Anexo C da EN 1097-1: 2011). Assim, 5000 gramas de cada um dos materiais foram separados, de acordo com a seguinte distribuição de tamanhos de partículas (Figura 2):

- a) Andesito 500 g: 11,2 mm / 16 mm - Razão: 11,2 mm - 14,0 mm (30%) e 14,0 mm - 16,0 mm (70%)
- b) Dolomita 500 g: 10 mm / 14 mm - Razão: 10,0 mm - 11,2 mm (30%) e 11,2 mm - 14,0 mm (70%)
- c) ARCM 500 g: 8 mm / 11,2 mm - Razão: 8,0 mm - 10,0 mm (50%) e 10,0 mm - 11,2 mm (50%)
- d) ARCG 500 g: 8 mm / 11,2 mm - Relação de: 8,0 mm - 10,0 mm (50%) e 10,0 mm - 11,2 mm (50%)



**Figura 2: Agregados: a) andesito b) dolomita e c) concreto reciclado. Fonte: Autores, 2019.**

Adicionou-se  $(2,5 \pm 0,05)$  l de água a cada tambor. Colocou-se uma tampa em cada tambor e posicionou-se cada tambor nos dois eixos. Os giros dos tambores foram executados a uma velocidade de  $(100 \pm 5)$  min<sup>-1</sup> para revoluções  $(12.000 \pm 10)$  (Figura 3).



**Figura 3: Tambor com agregados e esferas metálicas e máquina utilizada no ensaio. Fonte: Autores, 2019.**

No final do ensaio, o material foi recolhido, colocado numa peneira de 1,60 mm e lavado com água corrente (Figura 4). Em seguida, as esferas de aço foram removidas e o material remanescente foi mantido em estufa ventilada a 105 ° C de temperatura por 1 dia. O teste terminou com a determinação da massa retida na peneira de 1,6 mm de acordo com a EN 933-1. Registrou a massa (m) retida na peneira de 1,6 mm até o grama mais próximo.



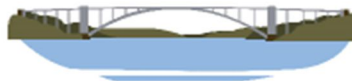
**Figura 4: Material lavado em água corrente. Fonte: Autores, 2019.**

A equação 1 foi usada para determinar o coeficiente Micro-Deval e os resultados são apresentados no tópico Resultados.

$$Mde = \frac{500-m}{5} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

Mde = o coeficiente micro-Deval (na condição molhada)



m = a massa da fração retida na peneira 1,6 mm em gramas

- Ensaio Los Angeles

A norma EN 1097-2 "Testes para propriedades mecânicas e físicas de agregados - Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação - 2010" descreve o procedimento para determinar a abrasão de uma amostra agregada natural ou artificial pela determinação da Coeficiente de Los Angeles, o teste mede a degradação de uma amostra agregada grossa.

O teste consiste em uma combinação de ações, incluindo abrasão ou atrito, impacto e retificação em um tambor de aço rotativo contendo um número especificado de esferas de aço sólido. O ensaio de Los Angeles é amplamente utilizado devido aos resultados confiáveis obtidos. Existe não só uma correlação muito boa com o desgaste do agregado quando utilizado em concreto, mas também com a resistência à tração, a resistência à compressão e a resistência à flexão do concreto produzido com os agregados em questão.

- Equipamentos
  - a) Balança: capaz de pesar até uma precisão de 0,1% da massa da porção de teste;
  - b) Forno ventilado: controlado para manter a temperatura de  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
  - c) Equipamento para reduzir as amostras de laboratório a uma porção de teste;
  - d) Máquina de teste de Los Angeles.

- Materiais e procedimento

De início, foram separados 5000g de material de cada tipo de agregado, com a seguinte distribuição granulométrica:

- a) Andesito 5.000 g: 10 mm / 14 mm - Razão: 10,0 mm - 11,2 mm (30%) e 11,2 mm - 14,0 mm (70%);
- b) Dolomita: 5.000 g: 10mm / 14mm - Razão: 10,0mm - 11,2mm (30%) e 11,2 mm - 14,0 mm (70%);
- c) ARCM 5.000 g: 8 mm / 11,2 mm - Razão de: 8,0 mm - 10,0 mm (76%) e 10,0 mm - 11,2 mm (24%);
- d) ARCG 5.000 g: 8 mm / 11,2 mm - Relação de: 8,0 mm - 10,0 mm (19%) e 10,0 mm - 11,2 mm (81%).

Após o carregamento do tambor LA, a execução de 500 ciclos foi necessária para o procedimento. Finalizando esse procedimento, o material foi coletado (Figura 5).

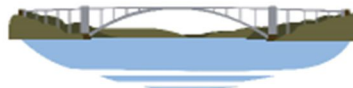


Figura 5: Material após o teste. Fonte: Autores, 2019.

Em seguida, o material foi peneirado em peneira de 1,60mm e lavado com água corrente (Figura 6) e as esferas de aço retiradas.



Figura 6: Agregado reciclado retido na peneira 1,6 mm e lavagem. Fonte: Autores, 2019.



Então o agregado natural foi mantido no forno ventilado a 65°C de temperatura por 2 dias, já os agregados reciclados foram mantidos por 1 dia a 105°C. Por fim, o material seco foi pesado. A equação 2 foi usada para determinar o coeficiente Los Angeles.

$$LA = \frac{5000-m}{50} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

LA = coeficiente de Los Angeles;

m = a massa retida na peneira de 1,6 mm em gramas.

## RESULTADOS

Com base nos procedimentos descritos e realizados, é possível obter os seguintes resultados:

- Resultados para o teste de peneiramento

Na Figura 7 é apresentada a curva granulométrica obtida através do peneiramento mecânico, observa-se que o ARCM apresenta uma curva granulométrica distribuída em várias faixas de tamanhos, apresentando partículas miúdas (1,0 mm) até partículas graúdas (10 mm), enquanto que os demais materiais possuem uma graduação com poucos finos com uma concentração maior na faixa de 10 a 30 mm.

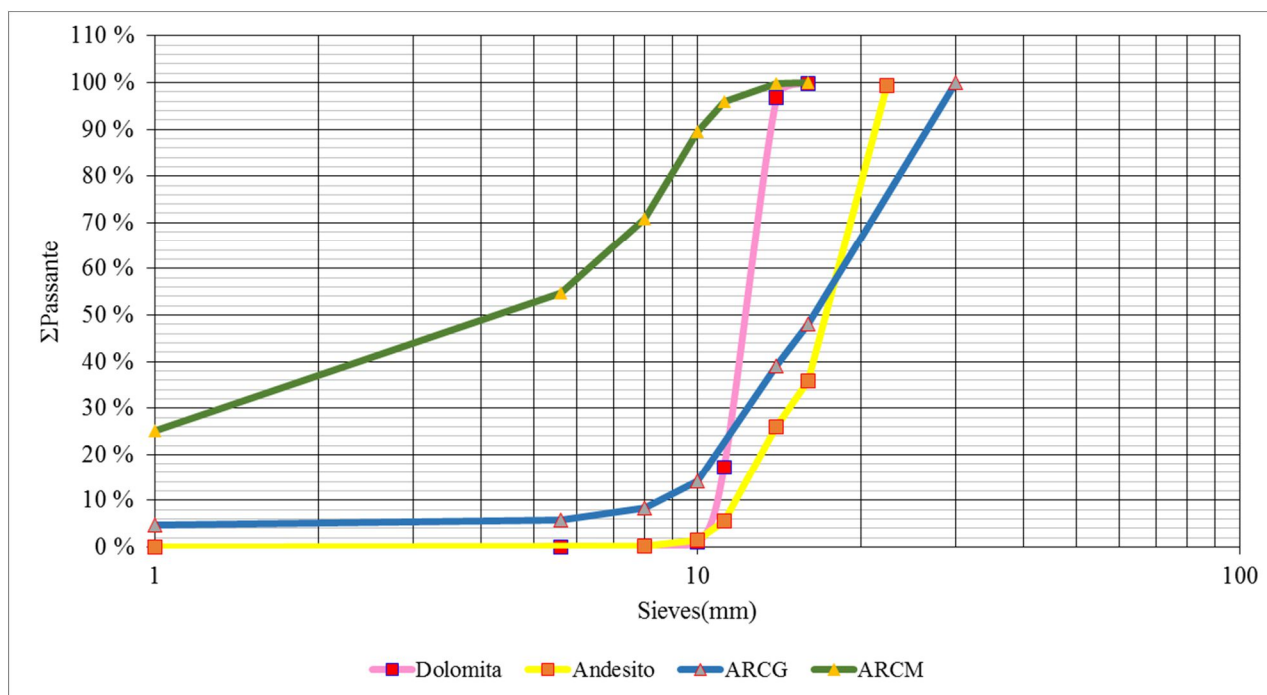


Figura 7: Curva granulométrica. Fonte: Autores, 2019.

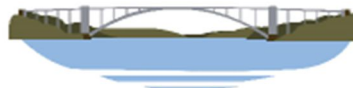
- Resultados para o ensaio de Micro-Deval

O resultado obtido com este ensaio (Quadro 3) evidencia que o material oriundo de resíduo possui uma baixa resistência ao intemperismo, isto pode ser atribuído a sua composição de cimento, areia e brita, enquanto que os agregados naturais apresentam uma resistência maior neste ensaio.

Quadro 3. Resultados para o ensaio de micro-Deval.

Fonte: Autores, 2019.

Material	Antes do teste	Depois do teste	MDE
Dolomita	500,30	455,11	9,04
Andesito	499,88	413,38	17,3
ARCM	500,20	384,60	23,12
ARCG	500,40	395,20	21,04



- Resultados para o ensaio Los Angeles

No ensaio Los Angeles foi confirmado a baixa resistência a abrasão dos agregados reciclados, os quais obtiveram os maiores resultados (Quadro 4).

**Quadro 4. Resultados para o ensaio de Los Angeles.**

Fonte: Autores, 2019.

Material	Antes do teste	Depois do teste	LA
Dolomita	5000	3892,88	22,14
Andesito	4950,7	4241,5	14,18
ARCM	5000,1	3453,3	30,94
ARCG	5000,2	3586,4	28,28

## CONCLUSÃO

Como o esperado, os agregados reciclados obtiveram resultados inferiores aos agregados naturais, porém, já que são valores próximos, o comportamento geral de desgaste é satisfatório. Devido ao material limitado, foram usadas faixas de tamanho das partículas diferentes, não influenciando o resultado, já que a comparação foi feita conforme indicado na EN 1097-1.

No entanto, o cuidado na aplicação deste tipo de produto reciclado deve ser amplo, pois ao contrário dos agregados naturais que possuem características constantes, os agregados reciclados possuem heterogeneidade que vem dos resíduos da construção, o que demonstra a necessidade de uma caracterização mais frequente para cada lote a ser utilizado.

Portanto, recomenda-se a utilização deste agregado para produção de concreto para análise de itens básicos como resistência a compressão, flexão e abrasão para assim determinar o seu uso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma brasileira ABNT NBR 15115 , 30 de julho de 2004.** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma brasileira ABNT NBR 15112 , 30 de julho de 2004.** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
3. EN 933-1: **Testes para propriedades geométricas de agregados. Determinação da distribuição do tamanho de partículas. Método de peneiramento.** (do inglês *Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle size distribution. Sieving method*), 2012
4. EN 1097-1: **Teste de propriedades mecânicas e físicas de agregados - Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval).** (do inglês *Test for mechanical and physical properties of aggregates - Determination of resistance to wear - micro-Deval*), 2011.
5. EN 1097-2: **Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação.** (do inglês *Test for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation*), 2010.
6. NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto** – 2ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1997.