

**TESTE DE PROPRIEDADES DO CONCRETO COM AGREGADOS RECICLADOS**

Roque Rodrigo Rodrigues (*), Francisco Douglas Castro Costa, Tarcísio Couto Carneiro, Mariana Vivi Kranz, Simon Karoly Tamás

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

RESUMO

Com a necessidade de sustentabilidade e reaproveitamento de materiais na construção civil, o concreto produzido utilizando agregados reciclados provenientes de resíduos sólidos gerados na construção civil é uma ótima alternativa para a solução deste problema. Assim é necessário realizar estudos e avaliar a viabilidade da produção de um concreto com agregados reciclados, este estudo testa e compara os resultados deste concreto com o concreto convencional feito com a mistura de agregados naturais. Este estudo foi realizado com base em estudos prévios dos agregados reciclados, de granulometria miúda e grossa.

PALAVRAS-CHAVE: concreto ecológico, agregado reciclado, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

With the need for sustainability and reuse of materials in civil construction, concrete produced using recycled aggregates from solid waste generated in civil construction is a great alternative for solving this problem. Thus it is necessary to carry out studies and evaluate the feasibility of the production of a concrete with recycled aggregates, this study tests and compares the results of this concrete with the conventional concrete made with the mixture of natural aggregates. This study was carried out based on previous studies of recycled aggregates, of small and coarse granulometry.

KEY WORDS: ecological concrete, recycled aggregate, mechanical properties.

INTRODUÇÃO

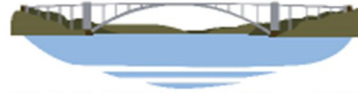
A construção civil é um ramo de grande importância no desenvolvimento da economia de uma sociedade, porém é responsável por grandes impactos ambientais com a exploração dos recursos ambientais e a grande geração de resíduos, (SCHNEIDER, 2003). Uma forma de minimizar os impactos gerados pela grande quantidade de resíduos é o gerenciamento e reciclagem dos mesmos. Visando isso essa pesquisa, realizada na Hungria utilizando normas europeias, busca desenvolver e avaliar a viabilidade de um concreto composto por agregados reciclados provenientes da reciclagem dos resíduos de construção civil, no entanto o Brasil também conta com normas que regulamentam essa atividade, tais como a NBR 15116 que aborda os requisitos para a utilização desses agregados em pavimentação e concretos se função estrutural, a NBR 15115 que traz os procedimentos para a utilização de um pavimento ou concreto com agregados reciclados, dentre outras.

OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo apontar resultados dos testes básicos de flexão de três pontos, teste de abrasão de Böhme e de compressão. Avaliar a viabilidade do uso do concreto composto de agregados reciclados na execução de pavimentação

METODOLOGIA

Após estudo prévio que analisou os agregados naturais e reciclados de concreto miúdo (ARCM) e graúdo (ARCG), para determinar suas propriedades (teste de Los Angeles e micro-Deval), foi possível determinar o traço do concreto a ser testado. Foram compostos quatro traços diferentes (Quadros 1, 2 e 3), conforme a curva de classificação dos agregados.

**Quadro 1. Quantidade de materiais para concreto composto de agregados naturais.**

Fonte: Autores, 2019.

Agregado	Cimento (kg)	Água (L)	Areia razão 0/4 (kg)	Agregado graúdo razão 8/14 (kg)
Dolimita	1,40	0,70	2,25	5,25
Andesito	1,40	0,70	2,31	5,38

Quadro 2. Quantidade de materiais para concreto composto de agregado reciclado graúdo.

Fonte: Autores, 2019.

Agregado	Cimento (kg)	Água (L)	Areia razão 0/4 (kg)	Agregado razão 0/12 (kg)
CRCA	1,40	0,70	0,69	6,20

Quadro 3. Quantidade de materiais para concreto composto de agregado reciclado miúdo.

Fonte: Autores, 2019.

Agregado	Cimento (kg)	Água (L)	FRCA razão 0/12 (kg)	Cascalho razão 12/16 (kg)
FRCA	1,40	0,70	6,2	0,69

- Procedimento

Após separar todos os materiais na quantidade correta, os agregados e metade da água foram colocados no misturador para serem incorporados. Assim, o cimento e o restante da água foram adicionados e o processo de mistura durou 2 minutos. No momento houve a necessidade de verificar se a mistura estava muito rígida e, em caso afirmativo, seria adicionada um aditivo de plastificação para tornar o concreto viável (Figura 1).

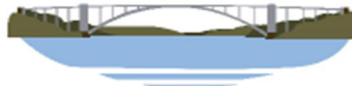


Figura 1: Mistura do concreto. Fonte: Autores, 2019.

A mistura foi assentada nas formas (Figura 2) e no dia seguinte retiradas, ficando posteriormente sob água por 6 dias. Após esse tempo, retiradas da água, os corpos de prova permaneceram em cura por 28 dias.



Figura 2: Aplicação do concreto na forma. Fonte: Autores, 2019.



- Teste de flexão de três pontos (teste de resistência à flexão)

O teste de flexão fornece dados para avaliar propriedades mecânicas de vários materiais, entre essas propriedades está a resistência à flexão. De acordo com Hoare (2003), o teste de flexão é realizado apoiando a amostra a partir de baixo por dois suportes a uma distância L , aplicando uma carga de flexão no centro da amostra. Esta carga deve ser aumentada lentamente até a falha da amostra.

- Procedimento

As amostras, ao final do período de cura de 28 dias, foram submetidas ao ensaio em uma máquina universal do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Tecnologia e Economia de Budapeste.

As amostras foram colocadas centralmente em uma extensão de 200 mm, e a carga ocorreu de maneira lenta e gradual (Figura 3) até a falha ocorrer (Figura 4).



Figura 3: Amostra sendo testada. Fonte: Autores, 2019.



Figura 4: Amostra partida (com falha). Fonte: Autores, 2019.

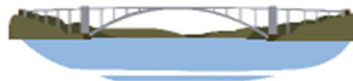
No final do teste, a força necessária para falhar a amostra foi registrada manualmente a partir do calibrador da máquina de teste (Figura 5).



Figura 5: Mostrador da máquina de ensaio. Fonte: Autores, 2019.

- O Teste de Abrasão de Böhme

O teste de abrasão de Böhme é o procedimento para determinar a resistência ao desgaste, colocando a amostra de teste na pista de teste do abrader de disco Böhme, sobre o qual, enquanto revolvendo, o material abrasivo padrão é derramado.



O disco gira e a amostra é submetida a uma carga de (294 ± 3) N para um determinado número de ciclos. Todos os seis planos do espécime cúbico são desgastados. A perda no volume da amostra será o desgaste abrasivo.

- Procedimento

Inicialmente, foi despejado 20 gramas do pó abrasivo no disco de teste (Figura 6), carregando a amostra centralmente em 294 ± 3 N de força. É importante certificar-se que o abrasivo seja distribuído de forma uniforme na área definida pela largura da amostra.



Figura 6: Material abrasivo na pista. Fonte: Autores, 2019.

Em seguida, a amostra foi testada por 16 ciclos, cada um com 22 revoluções. Após cada ciclo, tanto o disco quanto a superfície de contato das amostras foram limpos, e a amostra foi rodada 90° (horizontalmente) e novos 20 g de material abrasivo foram despejados na esteira (Figura 7).



Figura 7: Amostra fixada no suporte com a força central aplicada e usando uma esponja o pó abrasivo é mantido na pista. Fonte: Autores, 2019.

RESULTADOS

A resistência a compressão do concreto é uma das principais propriedades do concreto na concepção de um edifício e outras estruturas. Esta resistência é calculada a partir da carga de rompimento dividida pela área transversal, sendo reportadas em Mega Pascal (MPa).

No teste, duas placas de aço de 70x70 milímetros são posicionadas em lados opostos da amostra, centralmente, em uma no equipamento de compressão. A força é aplicada gradualmente até o rompimento da peça e o valor é registrado manualmente.

O teste de flexão de três pontos foi feito em oito amostras, duas para cada mistura. Assim, o resultado final inclui os valores mínimos, médios e máximos de cada mistura e é mostrado na Figura 8.

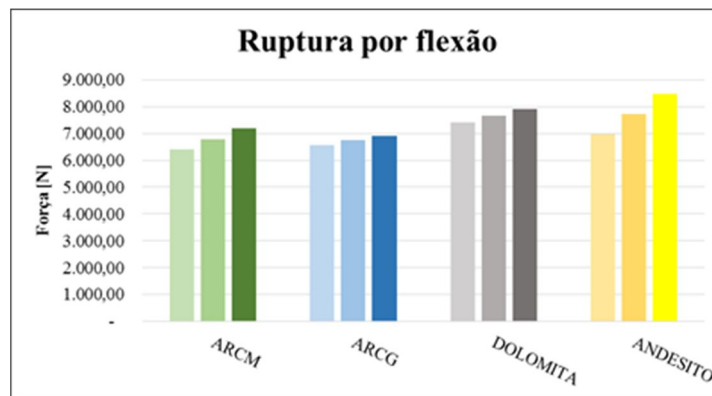
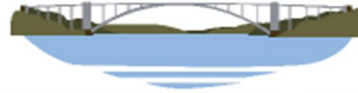


Figura 8: Carga de rompimento das amostras de concreto. Fonte: Autores, 2019.

Neste mesmo ensaio, foi levado em consideração a análise de densidade das amostras, onde a massa e o volume iniciais foram utilizados para o cálculo (valor médio). Os valores de densidade foram comparados com a resistência à flexão média das amostras (Figura 9).

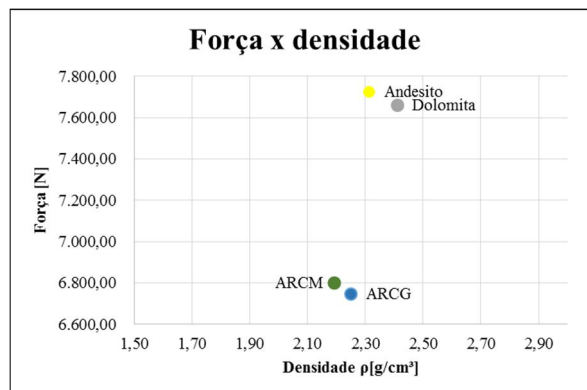


Figura 9: Relação densidade e resistência. Fonte: Autores, 2019.

A resistência à abrasão foi calculada de acordo com a norma EN 1338-2003, que diz em que a perda de volume é o desgaste abrasivo e pode ser calculada por (Equação 1):

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

ΔV = perda em volume após 16 ciclos em milímetros cúbicos;

Δm = perda de massa após 16 ciclos em gramas;

ρr = a densidade da amostra.

Assim, os resultados finais com a perda de volume de cada amostra são mostrados na Figura 10.

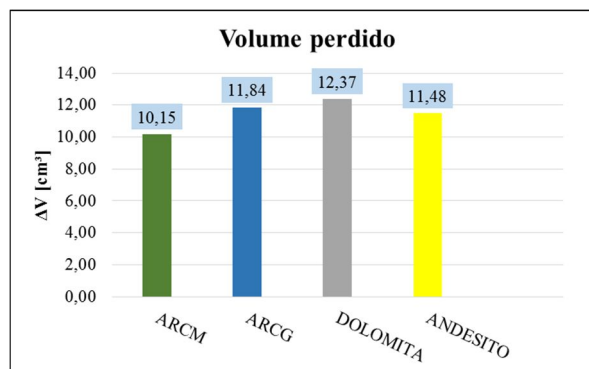


Figura 10: Volume perdido em ensaio. Fonte: Autores, 2019.



Sendo a resistência à compressão calculada pela razão da força para ruptura pela área da placa de compressão, os resultados mínimos, médios e máximos das amostras (duas amostras para tipo de agregado) ensaiadas são apresentados na Figura 11.

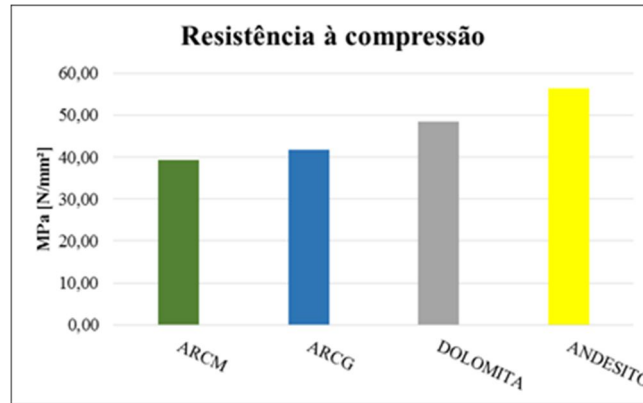


Figura 11: Resistência à compressão em MPa. Fonte: Autores, 2019.

Também é possível observar a relação da resistência à compressão com os resultados de perda de volume, micro-Deval e Los Angeles (Figuras 12, 13 e 14).

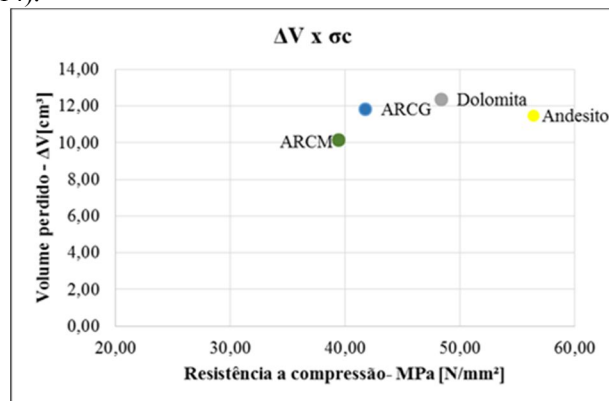


Figura 12: Resistência à compressão em Mpa em relação à perda de volume no teste de Böhme. Fonte: Autores, 2019.

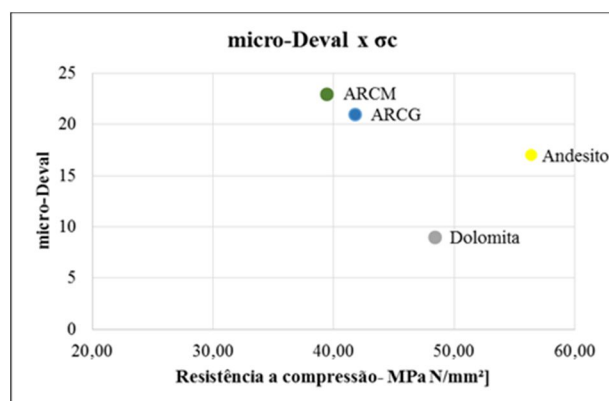


Figura 13: Resistência à compressão em MPa em relação aos resultados de micro-Deval. Fonte: Autores, 2019.

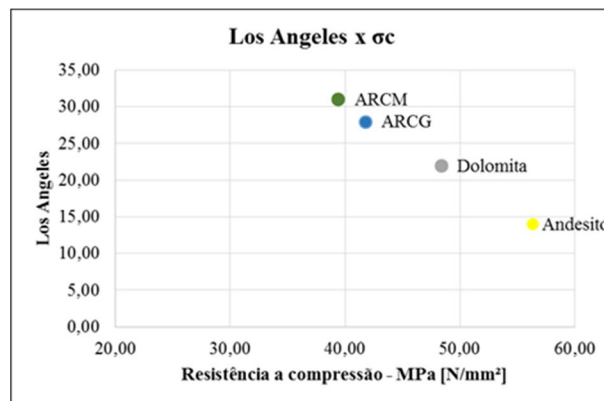
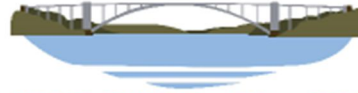


Figura 14: Resistência à compressão em MPa em relação aos resultados de Los Angeles. Fonte: Autores, 2019.

CONCLUSÃO

Os resultados foram satisfatórios e não indicam diferenças significativamente grandes entre o concreto produzido com agregados naturais, que pode se tornar uma opção para casos com limitação de carga inoperante e sem função de carga. Outro grande resultado foi a resistência à abrasão, já que a ARCM possui a melhor capacidade de resistir à abrasão. Isso pode ser explicado pelo fato de que, na mistura de concreto, cascalho foi adicionado como a fração agregada graúdo, que pode ter aumentado sua resistência à abrasão. Outro significado é que usar ARCM como componente fino não diminui a resistência à abrasão.

Concretos misturados com Andesito e ARCG mostraram pouca ou nenhuma relação entre seus resultados de resistência à abrasão e compressão, onde Andesito tem bom (o segundo melhor resultado), e o ARCG o pior. No entanto, a diferença entre eles foi menor do que o esperado, o que o torna um resultado satisfatório.

Em geral, o resultado obtido da pesquisa foi bastante interessante, apesar de os agregados reciclados nos testes de abrasão (micro-Deval e Los Angeles) terem uma menor resistência, ao comparar os concretos pelo teste de abrasão de Böhme, eles mostraram uma maior resistência aos concretos feitos pelo agregado natural.

Os resultados dos testes de resistência à compressão também refletiram a conclusão anterior, uma vez que, embora o concreto com agregado reciclado testado tenha menos resistência à compressão em comparação ao com o agregado natural, ele tem uma maior resistência à abrasão.

Portanto, considerando os resultados, o material analisado pode ser utilizado como agregado para concreto em locais sem função estrutural de sustentação de carga, e como possui boa resistência à abrasão, pode ser exposto a intempéries, utilizando-o em pavimentos ou blocos de concreto intertravados (pavers).

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 15116 , 30 de setembro de 2004.** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos.
3. EN 14157: **Blocos de Pavimentação de Concreto.** (do inglês *Natural Stones – Determination of abrasion resistance.*) 2003.
4. HOARE, A. R. **Feasibility of using the micro-deval test method as an aggregate production quality control tool.** Faculty of Texas Tech University. Monograph search. 2003. Disponível em: <https://repositories.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/12382/31295018721067.pdf?sequence=1>. Acesso em 22 de maio.
5. SCHNEIDER, D. M. **Disposição irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo.** Tese de Mestrado da Faculdade da Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.