

UTILIZAÇÃO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

LEITE, Mônica B. (1); PEDROZO, Patrícia H. (2); OLIARI, Graziella F. (3); ALVES, Martha F. (4); DAL MOLIN, Denise C. C. (5)

(1) Eng. Civil, Mestranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/UFRGS – Rua Osvaldo Aranha 99, 3º andar, CEP 90035-190 Porto Alegre-RS. E-mail mleite@genesis.cpgec.ufrgs.br

(2) Eng. Civil, Mestranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/UFRGS, Rua Osvaldo Aranha 99, 3º andar, 90035-190, Porto Alegre-RS

(3) Eng. Civil, Mestranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/UFRGS, Rua Osvaldo Aranha 99, 3º andar, 90035-190, Porto Alegre-RS

(4) Eng. Civil, Mestranda em Engenharia, pesquisadora do NORIE/UFRGS, Rua Osvaldo Aranha 99, 3º andar, 90035-190, Porto Alegre-RS

(5) Eng. Civil, Professora da UFRGS, Rua Osvaldo Aranha 99, 3º andar, 90035-190, Porto Alegre-RS

RESUMO

A indústria da construção é considerada a maior geradora de resíduos de toda sociedade. A reciclagem dos resíduos apresenta-se como boa alternativa para a minimização da utilização de recursos naturais e melhoria no gerenciamento dos resíduos gerados. O objetivo deste trabalho é avaliar características do desempenho mecânico (resistência à compressão e módulo de elasticidade), de durabilidade (carbonatação) e a estrutura interna de argamassas confeccionadas com agregado reciclado de concreto comparativamente a argamassas produzidas com agregado natural, na tentativa de ilustrar melhor o comportamento desse resíduo e a sua possível utilização em larga escala. Para realização deste estudo foram considerados três relações água/cimento e três traços em massa. Os resultados demonstram que o agregado reciclado de concreto pode ser um bom substitutivo para o agregado natural na produção de argamassa. A argamassa reciclada chegou a alcançar melhores resultados que a argamassa de referência para as propriedades avaliadas.

ABSTRACT

The construction industry is the biggest waste generator of society. The waste recycling appear as a good alternative to save natural resources and to improve the waste management. This paper goal is to evaluate mechanical performance characteristics (compression strength and modulus of elasticity), durability (carbonation) and microstructure of mortars produced with recycled aggregate compared with reference ones. This fact tries to illustrate the recycled material behavior and the possibility of its use in large scale. Three water/cement ratio and three mixes were used to develop this study. The results show a good behavior of concrete recycled aggregate to mortar production.

1 INTRODUÇÃO

O emprego indiscriminado de recursos naturais, muitas vezes não renováveis, para a produção de bens destinados à sociedade vem se tornando uma preocupação crescente não só entre ambientalistas, mas também entre todos os segmentos produtivos. Segundo BERSNTEIN, citado por JOHN (1998), a questão ambiental foi considerada a segunda mais importante tendência para o futuro. A construção civil é considerada por alguns autores como o maior gerador de resíduos de toda a sociedade. O setor gera um volume de resíduos que equivale ao dobro do resíduo sólido urbano (PERA, 1996).

A reciclagem dos resíduos é então uma das melhores alternativas para redução da utilização de recursos naturais e para melhoria nas questões de gerenciamento ambiental. A construção civil apresenta-se como um ótimo consumidor de materiais reciclados, tendo em vista o grande número de materiais e produtos utilizados no setor. A primeira utilização de resíduo de construção se deu na época dos romanos. Mas somente após a Segunda Grande Guerra esse resíduo foi largamente utilizado, devido a grande quantidade de escombros nas cidades destruídas (PERA, 1996).

Desde então alguns avanços no estudo e utilização dos resíduos de construção já foram conseguidos, principalmente no exterior. Entretanto, no Brasil, apenas nos últimos anos observa-se o interesse, por parte de pesquisadores, em aprofundar o conhecimento técnico nesta área (PINTO, 1996). Alguns usos já são dados aos resíduos de construção e demolição como bases e sub-bases de pavimentos, blocos de vedação, agregado para argamassas e concretos, entre outros.

Segundo a NBR 10004 (ABNT, 1987), o resíduo de construção pertence à classe III – inerte, e assim, tem baixa ou quase nenhuma capacidade de biodegradação, podendo, então, ser considerado como não degradável. O beneficiamento do resíduo de construção é dado através da sua separação para retirada de impurezas (metais, papeis, vidros, plásticos, madeiras, entre outros), britagem e peneiramento em diferentes granulometrias. Segundo LEVY (1997), a sua composição depende muito da fonte que o originou e do momento no qual foi colhida a amostra. E ainda, que pode variar com a tipologia e o processo construtivo adotado.

Muitos estudos devem ser realizados para o completo entendimento do comportamento dos resíduos reciclados para utilização como novos materiais. Visando contribuir neste sentido, este trabalho pretende avaliar algumas propriedades de argamassas, resistência à compressão, módulo de deformação e carbonatação. Para o estudo, foram avaliadas três relações a/c (0,3; 0,4 e 0,5) e dois tipos de agregado miúdo, natural e reciclado de concreto.

2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Para a produção das argamassas empregadas no programa experimental optou-se pela utilização de cimento Portland pozolânico de classe 32 (CP IV – 32), agregado miúdo natural

proveniente do Rio Jacuí, agregado miúdo reciclado obtido a partir da britagem de concretos produzidos com CP IV – 32 com cerca de 15 dias de idade, água potável proveniente da rede pública e aditivo superplastificante, para manter a mesma consistência e relação a/c no caso das argamassas em que substituíam-se a areia natural pela areia reciclada.

2.2 Método

2.2.1 Confeção das Argamassas

As argamassas avaliadas foram confeccionadas com relações água/cimento 0,4, 0,5 e 0,6, e com agregados miúdos cuja composição granulométrica constituiu-se de quatro frações de 25% de material retido nas peneiras 2,4, 1,2, 0,6 e 0,3 mm.

Os traços foram determinados a partir das argamassas compostas por areia natural, misturando-se 624 g de cimento com água e fazendo-se, em seguida, acréscimos sucessivos de areia até a obtenção de uma argamassa com trabalhabilidade adequada. Este procedimento foi realizado primeiramente para a relação água/cimento 0,5, sendo o índice de consistência normal assim obtido mantido fixo para as demais relações.

Uma vez determinados os traços foram produzidas as argamassas, com areia natural e reciclada, em misturador mecânico com capacidade nominal de 5 dm³, sendo confeccionados 12 corpos-de-prova cilíndricos de (50x100) mm para cada traço, conforme a NBR 7215/96, totalizando 72 corpos-de-prova.

Em função da absorção de água de amassamento por parte da areia reciclada, tornou-se necessária a utilização de aditivo superplastificante nas argamassas onde foi utilizado este agregado, mantendo-se assim as relações água/cimento fixas. Os traços obtidos para as argamassas produzidas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Proporcionamento das argamassas de areia natural e reciclada

| Relação a/c | Cimento (g) | Água (g) | Areia (g) | Superpl. (%) | | Consist. (mm) | | Traço (em massa) |
|-------------|-------------|----------|-----------|--------------|------|---------------|-----|------------------|
| | | | | AN | AR | AN | AR | |
| 0,4 | 624 | 249,6 | 1215,0 | - | 0,65 | 314 | 316 | 1:1,95 |
| 0,5 | 624 | 312,0 | 2123,2 | - | 1,53 | 280 | 297 | 1:3,40 |
| 0,6 | 624 | 374,4 | 2477,3 | - | 0,63 | 307 | 287 | 1:3,97 |

NA: areia natural; AR: areia reciclada

2.2.2 Ensaios Realizados

2.2.2.1 Resistência à Compressão Axial

Este ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7215/96 em corpos-de-prova cilíndricos de (50x100) mm, realizado aos 28 dias de idade.

2.2.2.2 Módulo de Deformação

Este ensaio foi realizado conforme as prescrições da NBR 8522/84 em corpos-de-prova cilíndricos de (50x100) mm, realizado aos 28 dias de idade. Para efetuar a medida da deformação foi utilizado o sistema de extensômetro mecânico com precisão de 0,002mm. Foi adotado para a realização do ensaio o plano de carga III.

2.2.2.3 Carbonatação

Depois de curados por 28 dias, os corpos-de-prova permaneceram em ambiente climatizado, com condições constantes de temperatura (25 ± 2)°C e umidade (70 ± 5)%, por períodos de 7 e 12 meses. Ao final destes períodos os corpos-de-prova foram seccionados e imediatamente foi aplicada uma solução de fenolftaleína à 1%, determinando-se a profundidade da frente de carbonatação.

2.2.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

Foi realizada microscopia eletrônica de varredura (MEV) através da reflexão de elétrons secundários, proporcionando a avaliação qualitativa da morfologia do material, no que diz respeito à evolução da hidratação do cimento nas primeiras idades, às zonas de transição, aos compostos formados, entre outros. Foram utilizadas amostras de 1 e 7 dias de idade, de argamassas de areia reciclada e areia normal com relação água/cimento 0,5.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à Compressão Axial

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial estão apresentados na Tabela 2 e representados graficamente na Figura 1.

Tabela 2 Resultados do ensaio de resistência à compressão axial

| Tipo de argamassa | Areia Normal | | | Areia Reciclada | | |
|-------------------|--------------|------|------|-----------------|-------|------|
| Relação a/c | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| fc (MPa) | 35,7 | 25,9 | 12,9 | 41,3 | 29,3 | - |
| | 33,0 | - | 13,7 | 41,4 | 22,0 | 17,0 |
| | - | 23,7 | 14,8 | 40,2 | 25,0 | 17,6 |
| Média (MPa) | 34,3 | 24,8 | 13,8 | 41,0 | 25,4 | 17,3 |
| CV (%) | 5,57 | 6,27 | 6,91 | 1,62 | 14,45 | 2,45 |

Os valores obtidos indicam que a argamassa de areia reciclada apresenta maior resistência mecânica do que a argamassa de areia normal. Tal fato pode ser associado à absorção de

parte da água livre da pasta pela areia reciclada, reduzindo a sua relação a/c. Pode ser apontado ainda o fato do concreto utilizado para a obtenção da areia reciclada ter apenas 15 dias de idade. A esta idade o cimento poderia não estar completamente hidratado e a possível existência de grãos anidros no agregado reciclado pode ter favorecido a obtenção de uma argamassa mais resistente e coesa, como se a nata e o agregado funcionassem como uma só estrutura.

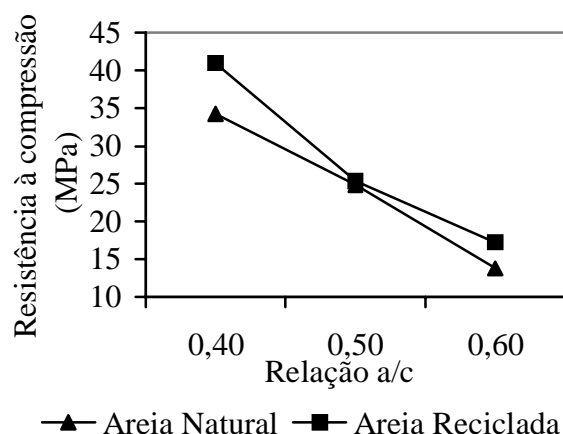


Figura 1 Resistência à compressão axial média aos 28 dias

3.1.2 Módulo de Deformação

Os resultados médios do ensaio de módulo de deformação estão apresentados na Tabela 3 e representados graficamente na Figura 2. Os valores correspondem ao módulo de deformação secante a 80% do carregamento.

Tabela 3 Resultados médios do ensaio de módulo de deformação

| Relação a/c | Areia Natural | | | Areia Reciclada | | |
|-------------|---------------|--------------|--------|-----------------|--------------|--------|
| | Tensão (MPa) | Módulo (GPa) | CV (%) | Tensão (MPa) | Módulo (GPa) | CV (%) |
| 0,40 | 25,2 | 12,6 | - | 40,2 | 10,6 | 14,6 |
| 0,50 | 20,1 | 7,1 | 18,6 | 25,2 | 4,5 | - |
| 0,60 | 12,6 | 4,5 | 12,9 | 12,6 | 3,6 | 21,8 |

Pode-se observar que a argamassa de areia reciclada apresentou valores de módulo de deformação menores que a argamassa de areia natural. Tal fato pode ser explicado pela maior porosidade apresentada pelo agregado reciclado, tornando a argamassa confeccionada com o mesmo mais deformável que a argamassa de referência.

Também observa-se que a medida que a relação a/c aumenta, diminui a diferença entre os valores de módulo de deformação.

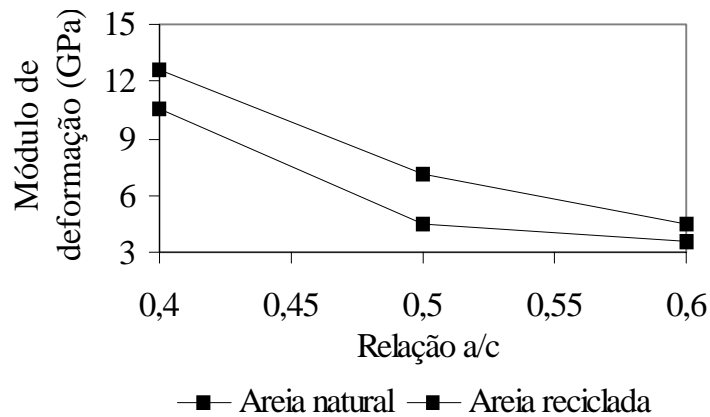


Figura 2 Módulo de deformação em função da relação a/c

3.3 Carbonatação

Os resultados médios do ensaio de carbonatação estão apresentados na Tabela 4 e representados graficamente na Figura 3.

Tabela 4 Resultados médios do ensaio de carbonatação

| Idade | Argamassa de Areia Natural | | | | Argamassa de Areia Reciclada | | | |
|----------|----------------------------|--------|------------------|--------|------------------------------|--------|------------------|--------|
| | 7 meses | | 12 meses | | 7 meses | | 12 meses | |
| Rel. a/c | Prof. Carb. (mm) | CV (%) | Prof. Carb. (mm) | CV (%) | Prof. Carb. (mm) | CV (%) | Prof. Carb. (mm) | CV (%) |
| 0,4 | 3,65 | 1,98 | 4,83 | 15,87 | 3,70 | 16,23 | 4,52 | 11,30 |
| 0,5 | 4,10 | 20,36 | 6,58 | 12,40 | 4,44 | 31,46 | 6,59 | 7,22 |
| 0,6 | 8,66 | 16,65 | 10,56 | 8,01 | 7,30 | 9,70 | 8,71 | 10,80 |

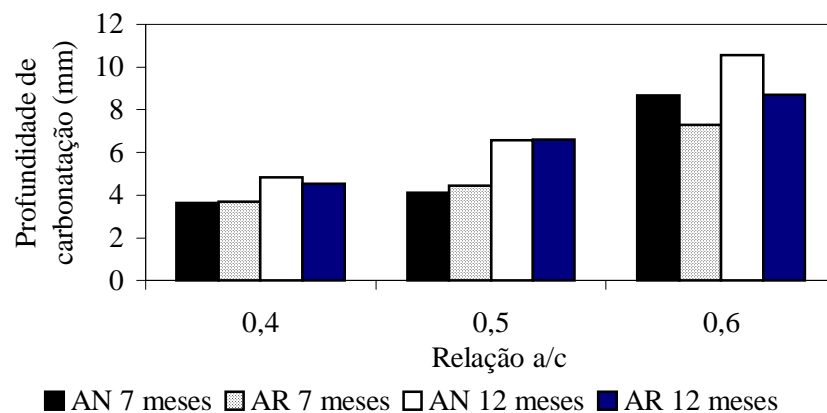


Figura 3 Profundidade de carbonatação em função relação a/agl

As argamassas confeccionadas com relações a/c 0,40 e 0,50 apresentaram profundidades de carbonatação semelhantes para os dois tipos de agregados utilizados. Todavia, para maior relação a/c a argamassa produzida com agregado reciclado apresentou melhor comportamento, ou seja, menor profundidade de carbonatação. Estes comportamentos foram observados nas duas idades avaliadas.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

Através da observação das amostras no MEV conclui-se que para quaisquer das duas idades analisadas a argamassa de areia natural apresentou maior porosidade que a argamassa de areia reciclada. Isto corrobora a hipótese de que a relação a/c da pasta diminui em função da absorção de parte da água livre pelos agregados reciclados, que possuem maior porosidade que os agregados naturais. Tanto na pasta, quanto na zona de transição, foram observadas maiores quantidades de etringita e hidróxido de cálcio na argamassa de areia natural, enquanto na argamassa de areia reciclada, para mesma idade, observou-se maiores quantidades de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio em menor proporção. Quando se compara a evolução do processo de hidratação de cada argamassa a 1 e a 7 dias, constata-se uma maior densidade da matriz da argamassa de areia reciclada (Figuras 4 e 5).

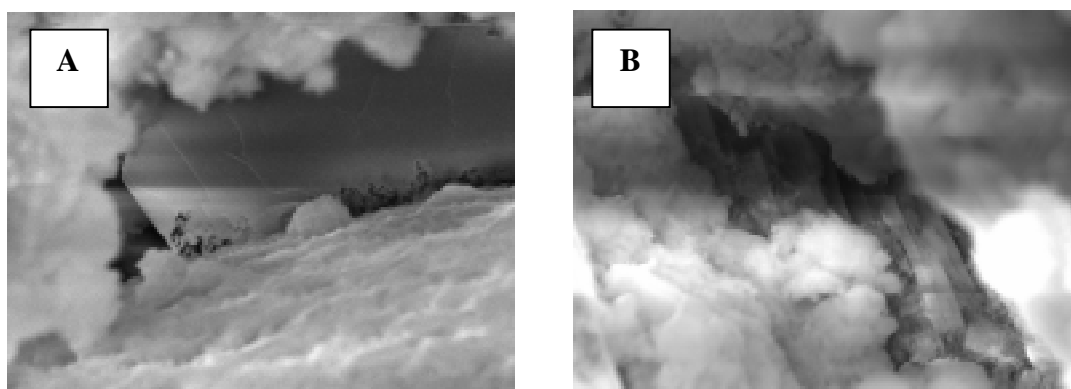


Figura 4 MEV por elétrons secundários: Ampliação (x6500): argamassa de areia normal (A) e de areia reciclada (B), a 1 dia de idade

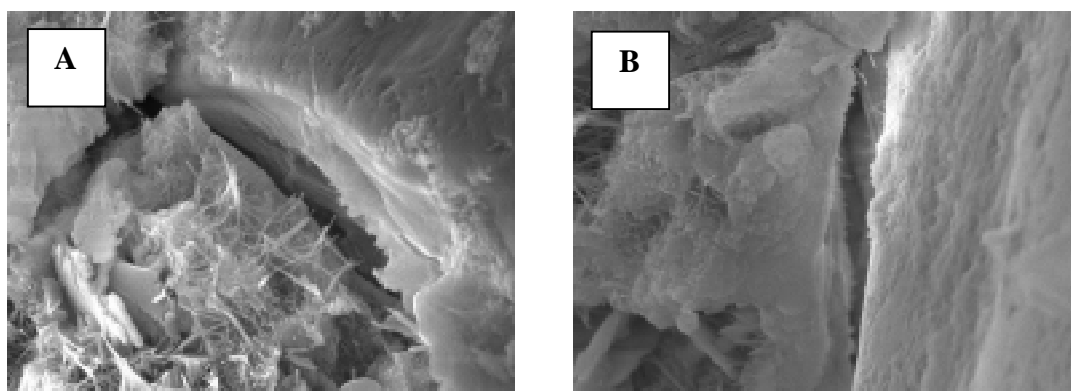


Figura 5 MEV por elétrons secundários: Ampliação (x6500): argamassa de areia normal (A) e de areia reciclada (B), a 7 dias de idade

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados encontrados pode-se concluir que o agregado reciclado de concreto apresenta-se como um bom substitutivo do agregado natural para a produção de argamassa, pelo menos no que diz respeito às propriedades avaliadas. Foi observado um aumento na resistência à compressão de até 26% e a presença de uma estrutura interna bem mais compacta e coesa das argamassas com areia reciclada quando comparadas às argamassas de agregado natural. Porém a argamassa de areia reciclada apresentou-se mais deformável que a argamassa de referência, o que viabiliza a utilização do material reciclado quando se trata de argamassas de revestimento, por exemplo. Em relação à carbonatação, as argamassas com areia reciclada apresentaram comportamento semelhante e até mesmo superior que as argamassas de areia normal. É importante salientar que os melhores comportamentos observados nas argamassas com areia reciclada decorrem da alta absorção deste material, que pode reduzir a relação a/c. Seria, então, interessante avaliar as mesmas propriedades considerando a absorção do agregado reciclado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**: NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão-deformação – Método de ensaio**: NBR 8522. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos - classificação**: NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.
- JOHN, Vanderley M. A construção e o meio ambiente. <http://www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm>. 1998.
- LEVY, Salomon Mony. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.
- PERA, Jean. State of the art report – use of waste materials in construction in Western Europe. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 170 p. p. 01 - 20.
- PINTO, Tarcísio de Paula. Reciclagem e reutilização de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC – USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 170 p. p. 159 – 170.