

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE CONCRETO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Rosa Cristina Cecche Lintz (1); Lia Lorena Pimentel (2); Alexandre de Assis Mota (3); Lia Toledo Moreira Mota (4)

(1) Faculdade de Engenharia Civil – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil
- e-mail: rosacclintz@puc-campinas.edu.br

(2) Faculdade de Engenharia Civil – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil
- e-mail: lialp@puc-campinas.edu.br

(3) Faculdade de Engenharia Civil – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil
- e-mail: amota@puc-campinas.edu.br

(4) Faculdade de Engenharia Civil – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil
- e-mail: mota@indelmatec.com.br

RESUMO

A incorporação de resíduos de construção e demolição (RCD) em concretos empregados na fabricação de blocos apresenta-se como uma alternativa sustentável contribuindo para a preservação de recursos naturais provenientes de fontes não-renováveis e para a diminuição do impacto ambiental. Nesta pesquisa objetivou-se verificar a influência da utilização do RCD nas propriedades dos blocos de concreto. Foram fabricados blocos de concreto com e sem RCD e a partir de um traço de referência empregado na fabricação de blocos de concreto na Região Metropolitana de Campinas, substituiu-se parte dos agregados graúdos e miúdos pelos resíduos de construção e demolição. Foram moldados dois diferentes traços de concreto com resíduos utilizados na produção dos blocos: o primeiro substituiu 12,5% do volume de agregados miúdos pelo RCD miúdos e 66% do volume de agregados graúdos pelo RCD graúdos e o segundo, substituiu 25% do volume de agregados miúdos pelo RCD miúdos e 66% do volume de agregados graúdos pelo RCD graúdos. Foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção a diferentes idades de cura e comparados os resultados. Pôde-se avaliar o desempenho dos blocos com entulho para estas propriedades e comparar com os resultados obtidos para os blocos de referência. Foram obtidos resultados favoráveis indicando a viabilidade da incorporação deste resíduo na fabricação de blocos de concreto. A relevância da pesquisa é a possibilidade de destinação de um passivo ambiental na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Materiais alternativos, Materiais e componentes da construção, Processos construtivos.

ABSTRACT

The addition of construction and demolition residues (CDR) in the concrete used for blocks production corresponds to a sustainable alternative, since it contributes for the saving of nonrenewable natural resources and for the reduction of environmental impacts. This work aimed to verify the influence of CDR utilization on the properties of concrete blocks. In order to achieve this goal, concrete blocks with and without CDR were fabricated, based on a reference mixture commonly used for concrete blocks production in the Metropolitan Region of Campinas. In this reference mixture, part of the coarse and fine aggregate were replaced by construction and demolition residues. Two different concrete traces were produced with residues used for blocks fabrication: the first replaced 12,5% of the fine aggregates volume for the fine CDR and 66% of the coarse aggregates volume for the coarse CDR; the second replaced 25% of the fine aggregates volume for the fine CDR and 66% of the coarse aggregates volume for the coarse CDR. Compressive strength and absorption tests were carried out for different ages. The obtained results were compared to the results related to the reference blocks and so the performance of the blocks with CDR was assessed. These results attest the viability of adding CDR in concrete blocks fabrication, indicating the relevance of this research that analyzed the possibility of using an environmental passive in the civil construction industry.

Keywords: Alternative materials, Materials and construction components, Constructive processes

1 INTRODUÇÃO

1.1 Agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição

A construção civil é o maior consumidor de matérias-primas naturais e não-renováveis. O emprego de resíduos sólidos neste setor tem representado economia de recursos naturais, de energia e tem trazido benefícios ambientais, contribuindo para a política de desenvolvimento sustentável.

Com o intenso crescimento populacional nos grandes centros os resíduos têm se transformado em grave problema urbano com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se volume e massa acumulados (JOHN, 1999; JOHN, 2000; BRITO, 1999; GÜNTER, 2000; PINTO, 1999).

Segundo a resolução nº 307/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) os resíduos de construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Os resíduos da construção civil são classificados de acordo com a capacidade de reciclagem ou reutilização. Os resíduos utilizados nesse trabalho se enquadram na Classe A (tais como os resíduos de: construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras).

Segundo PINTO (1989) analisando-se a quantidade de resíduos gerados pelas atividades construtivas nas cidades, se prevista uma total reutilização do mesmo, as necessidades de pavimentação de novas vias ou construção de habitações de interesse social seriam totalmente satisfeitas.

Segundo QUEBAUD e BUYLE-BODIN (1999), é possível utilizar os agregados obtidos pela reciclagem dos materiais de demolição na elaboração de concretos de resistência média (entre 25 e 30 MPa). Todavia, a principal dificuldade encontrada na fabricação desses concretos é devido à alta absorção de água pelos agregados reciclados. Contudo esse obstáculo pode ser transposto com a realização de uma pré-molhagem dos agregados e a utilização de aditivos adaptados.

BUTTLER et al. (2006) verificaram que a incorporação de agregados reciclados nas frações graúda e miúda na fabricação de blocos estruturais de concreto, é viável tecnicamente pois, atendem aos requisitos recomendados pela literatura e pela NBR6136.

1.2 Recomendações Normativas

A NBR6136 classifica os blocos de concreto simples para alvenaria, quanto ao seu uso, em quatro classes:

- a) Classe A – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- b) Classe B – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- c) Classe C – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Nota: Recomenda-se o uso de blocos com função estrutural classe C designados M10 para edificações de no máximo um pavimento, os designados M12,5 para edificações de no máximo dois pavimentos e os designados de M15 e M20, para edificações maiores.

- d) Classe D – Sem função estrutural, para uso em alvenaria acima do nível do solo.

A tabela 1 apresenta os valores da resistência característica à compressão que definem cada classe, segundo as especificações da NBR6136.

Tabela 1 – Requisitos para resistência característica à compressão (NBR6136).

Classe	Resistência Característica (f_{bk}) MPa
A	$\geq 6,0$
B	$\geq 4,0$
C	$\geq 3,0$
D	$\geq 2,0$

Quanto à absorção, de acordo com a NBR6136 o teor aceito para blocos vazados de concreto utilizando agregados normais, deve ser menor ou igual a 10%.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar as propriedades físicas dos blocos de concreto produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

As amostras de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) foram coletadas na Usina de Reciclagem de Campinas, situada no estado de São Paulo.

O resíduo reciclado produzido pela usina é formado predominantemente de materiais cerâmicos vermelhos, solos e outros, sendo fornecido em sete diferentes frações: brita 0, brita 1, brita 2, brita 3, brita 4, areia grossa, areia média, areia fina.

Os agregados reciclados de RCD empregados nesta pesquisa foram transportados ao Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da PUC-Campinas, selecionados na fração desejada e lavados em água corrente para a retirada das impurezas e finos das superfícies dos mesmos.

Os agregados reciclados foram novamente peneirados no laboratório e após serem lavados foram classificados segundo a NBR7211.

O agregado reciclado graúdo, segundo a composição granulométrica apresentada na tabela 2 e figura 1 (NBR7211) foi classificado como brita 0, com dimensão máxima característica 9,5 mm e módulo de finura 5,75. A absorção de água para o agregado reciclado graúdo é 16,68%, a massa específica é 2,05 g/cm³ (NBRNM52) e massa unitária igual a 1,13 g/cm³ (NBR7251).

O agregado reciclado miúdo, segundo a composição granulométrica apresentada na tabela 3 e figura 2 (NBR7211) foi classificado como areia grossa (zona 4), com dimensão máxima característica 4,80 mm e módulo de finura 2,86. A absorção de água para o agregado reciclado miúdo é 7,8%, a massa específica é 2,40 g/cm³ (NBRNM52) e massa unitária igual a 1,22 g/cm³ (NBR7251).

Os agregados reciclados foram empregados na fabricação dos blocos de concreto, substituindo parcialmente os agregados miúdos e graúdos naturais.

O cimento empregado na pesquisa foi o CPV-ARI, pois são os mais comumente utilizados nas empresas fabricantes de blocos de concreto da Região Metropolitana de Campinas. Algumas das características do cimento estão apresentadas na tabela 4.

Os agregados miúdos naturais empregados foram provenientes da Região Metropolitana de Campinas e possuem as seguintes características:

- resíduo de britagem de rocha (pó-de-pedra) classificado segundo a NBR7211 como areia grossa (zona 4), com diâmetro máximo característico de 4,80 mm, massa específica igual a 2,60 g/cm³ (NBRNM52) e massa unitária igual a 1,70 g/cm³ (NBR7251);

- areia quartzosa classificada segundo a NBR7211 como areia fina (zona 2), com diâmetro máximo característico de 1,20 mm, massa específica igual a 2,63 g/cm³ (NBRNM52) e massa unitária igual a 1,52 g/cm³ (NBR7251).

O agregado graúdo natural utilizado foi classificado como Brita 0, com diâmetro máximo característico de 9,50 mm (NBR7211), massa específica igual a 2,93 g/cm³, (NBRNM53) e massa unitária igual a 1,56 g/cm³ (NBR7251). O material foi também proveniente da Região Metropolitana de Campinas.

Tabela 2 – Composição granulométrica do agregado reciclado graúdo.

Peneira ABNT	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
12,5 mm	0	0	0
9,5 mm	210	4,2	4
6,3 mm	2560	51,2	55
4,8 mm	1355	27,1	82
2,4 mm	615	12,3	95
1,2 mm	115	2,3	97
0,6 mm	55	1,1	98
0,3 mm	50	1,0	99
0,15 mm	40	0,8	100
Fundo	0	0	
Total	5000		

Tabela 3 – Composição granulométrica do agregado reciclado miúdo.

Peneira ABNT	Massa Retida (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
6,3 mm	0	0	0
4,8 mm	1	0,1	0
2,4 mm	90	8,9	9
1,2 mm	231,4	23	32
0,6 mm	351,0	35	67
0,3 mm	130,8	13	80
0,15 mm	183,5	18,3	98
Fundo	15,2	1,5	100
Total	1002,9		



Figura 1: Agregado reciclado de RCD – brita 0.

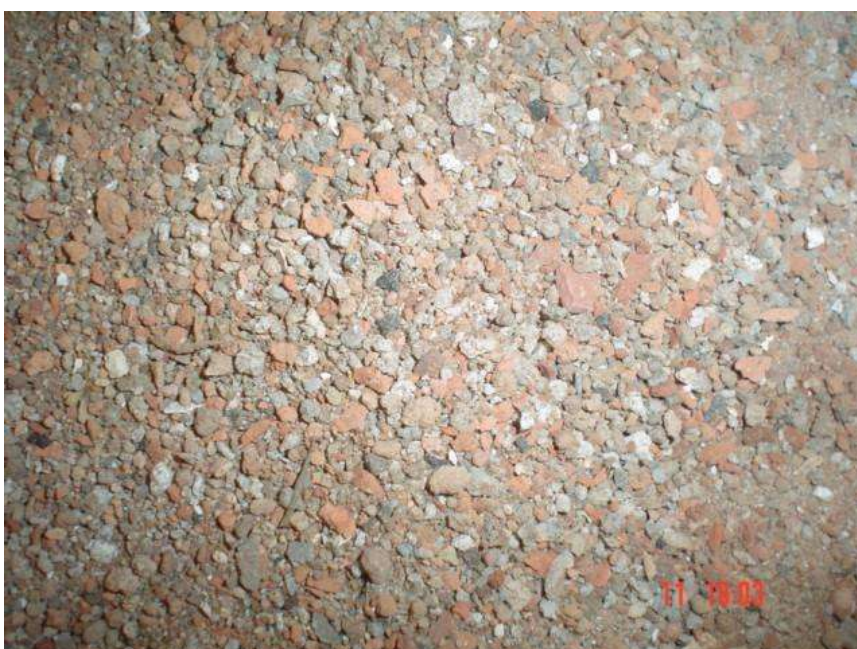


Figura 2: Agregado reciclado de RCD – areia grossa.

Tabela 4: Propriedades físicas e químicas do cimento empregado.

Características físicas	
Massa específica (g/cm ³)	3,04
Início de pega (min.)	148
Fim de pega (min.)	198
Resíduo na peneira 400 (%)	2,76
Blaine (cm ² /g)	4657
Relação a/c (%)	30
Resistência à compressão (MPa)	
1 dia	30,2
3 dias	42,1
7 dias	46,3
28 dias	54,6
Características químicas	
Perda ao fogo (%)	3,44
Resíduo insolúvel (%)	0,44
CO ₂ (%)	1,92
SO ₃ (%)	2,73
Al ₂ O ₃ (%)	4,35
SiO ₂ (%)	19,29
Fe ₂ O ₃ (%)	2,70
CaO (%)	64,76
MgO (%)	1,24

3.2 Produção dos Blocos de Concreto

A intenção desta pesquisa foi reproduzir um traço comumente empregado pelo setor produtivo de elementos de alvenaria, as empresas fabricantes de blocos de concreto da Região Metropolitana de Campinas. Desta forma adotou-se como referência o traço em volume 1 : 2,7 : 6,3 : 8,1 (cimento:areia:pó-de-pedra:brita) denominado traço 1.

A partir do traço de referência foram definidos os teores de substituição dos agregados convencionais pelos reciclados de RCD, onde:

- 12,5% do volume de agregados miúdos naturais foram substituídos pelos agregados miúdos reciclados de RCD e 66% do volume de agregados graúdos naturais foram substituídos pelos agregados graúdos reciclados de RCD (traço 2);
- 25% do volume de agregados miúdos naturais foram substituídos pelos agregados miúdos reciclados de RCD e 66% do volume de agregados graúdos naturais foram substituídos pelos agregados graúdos reciclados de RCD (traço 3).

Na produção dos blocos foi utilizado um misturador com pás de giro no eixo vertical (Figura 3). A moldagem dos blocos foi realizada numa fábrica de blocos e pré-moldados na Região Metropolitana

de Campinas, utilizando-se para a prensagem uma vibro-prensa (Figura 4). A Figura 5 apresenta os blocos de concreto logo após a prensagem.



Figura 3 – Misturador com pás giratórias no eixo vertical



Figura 4 – Equipamento - Vibro-prensa.



Figura 5 – Blocos de concreto (traço 0% de substituição).

As dimensões dos blocos de concreto moldados são 140x190x390 mm.

Após 24 horas da moldagem, a cura por aspersão teve início sendo realizada durante 7 dias. Após este período os blocos permaneceram no laboratório até completarem as idades para a realização dos ensaios de absorção e resistência mecânica.

3.3 Ensaio de resistência mecânica

Os ensaios para a determinação da resistência à compressão foram realizados na idades 14, 21 e 28 dias de cura.

Para a realização deste ensaio fez-se o capeamento para a regularização da base e superfície dos blocos 48 horas antes do ensaio de resistência à compressão para cada idade. Utilizou-se uma pasta de cimento CII-E-32 com relação água:cimento de 0,40. Manteve-se em 0,50 cm a espessura do capeamento.

O ensaio de resistência à compressão foi executado em Máquina Universal de Ensaio seguindo as orientações da NBR12118.

3.4 Ensaio de absorção

O ensaio de absorção foi realizado seguindo as especificações da NBR12118 (figura 6). Os blocos foram colocados em estufa à temperatura de 105 °C (± 5 °C) durante 24 horas. Em seguida os blocos foram pesados e retornados à estufa para a cada duas horas serem pesados novamente até que, em duas pesagens consecutivas, não tivessem diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor, anotando-se então a massa seca M_1 . Depois de resfriados naturalmente à temperatura ambiente, os blocos foram imersos em água à temperatura de 23°C por 24 horas. A pesagem do bloco saturado foi feita retirando-se o bloco da água e drenando-o sobre uma tela (9,5 mm ou mais) por 60 segundos. Em seguida, retirou-se a água superficial visível com um pano seco. Após esta pesagem o bloco foi novamente imerso em água e a cada duas horas efetuou-se o mesmo procedimento até que não se registrou em duas pesagens consecutivas diferença de massa superior a 0,5% em relação ao maior valor e anotou-se então a massa saturada M_2 .

O cálculo da absorção de água seguiu a fórmula:

$$a(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

Onde: M_1 – Massa do bloco seco em estufa;

M_2 – Massa do bloco saturado;

$a(\%)$ – Absorção de água em porcentagem.



Figura 6 - Blocos de concreto na estufa durante ensaio de absorção.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Resistência à compressão

Na tabela 5 são apresentados os valores da resistência à compressão média de ruptura dos blocos de concreto e a respectiva classificação de acordo com a NBR6136.

Tabela 5 – Valores de Tensão de Ruptura dos blocos de concreto aos 14, 21 e 28 dias.

Teor de substituição	14 dias		21 dias		28 dias	
	Resistência à compressão média (MPa)	Classificação NBR 6136	Resistência à compressão média (MPa)	Classificação NBR 6136	Resistência à compressão média (MPa)	Classificação NBR 6136
Traço 1	3,18	Classe C	3,035	Classe C	4,37	Classe B
Traço 2	2,955	Classe D	3,3175	Classe C	3,96	Classe C
Traço 3	3,16	Classe C	3,55	Classe C	3,175	Classe C

Observa-se que, para todos os teores estudados de substituição dos agregados naturais pelos reciclados os blocos atendem as especificações da NBR6136 para a resistência à compressão.

4.2 Absorção de água

Na tabela 6 são apresentados os valores obtidos no ensaio de absorção de água dos blocos de concreto para os teores de substituição dos agregados naturais pelos reciclados aos 14, 21 e 28 dias de idade. Observa-se que, com o aumento do teor de substituição, aumenta-se o teor de absorção do bloco de concreto. Este aumento ocorre, provavelmente porque os agregados reciclados utilizados nesta pesquisa apresentaram um alto índice de porosidade devido a maior predominância de material cerâmico, fato também constatado por diversos pesquisadores (ZORDAN, 1999; RIBEIRO *et al.*, 2001); QUEBAUD e BUYLE-BODIN, 1999; Boldrin *et al.*, 2006).

Tabela 6 - Teor de absorção de água dos blocos de concreto.

Teor de substituição dos agregados	Teor de absorção de água (%)		
	14 dias	21 dias	28 dias
Traço 1	5,90	3,13	3,64
Traço 2	5,93	4,54	7,90
Traço 3	6,76	6,00	9,75

Segundo a NBR6136 a absorção de água média para blocos vazados de concreto utilizando agregados normais, deve ser menor ou igual a 10%. Constata-se que, todos os traços ensaiados aos 14, 21 e 28 dias atendem as especificações da NBR6136 quanto ao ensaio de absorção.

5 CONCLUSÕES

Para os traços de concreto estudados nesta pesquisa, pôde-se concluir que:

- os resultados dos ensaios de resistência mecânica e absorção de água mostraram que é possível substituir parcialmente os agregados naturais pelos reciclados de RCD na fabricação de blocos de concreto;
- nota-se que a absorção de água dos blocos de concreto aumenta de acordo com a incorporação crescente de agregados reciclados de RCD;

- a incorporação de resíduos sólidos em compósitos de cimento tem contribuído para minimizar o acúmulo destes passivos ambientais em aterros sanitários e preservar o meio ambiente à medida que substitui um dos principais componentes do concreto - os agregados naturais – materiais provenientes de fontes não-renováveis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBRNM53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 8p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). NBRNM52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR7211 – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 11p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1982). NBR7251 - Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro. 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). NBR12118 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio - Rio de Janeiro. 12 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2007). NBR6136 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos - Rio de Janeiro. 9 p.

BOLDRIN, A. J.; MACHADO, R. L.; CAMPOS, M. A.; LINTZ, R. C. C. Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto com Resíduos de Construção e Demolição Empregados na Produção de Blocos de Concreto. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Rio de Janeiro. IBRACON, 2006.

BRASIL, Leis. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA RESOLUÇÃO n. 307, de julho de 2002.

BRITO FILHO, J.A. Cidade versus entulho. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1999. p.56-67.

BUTTLER A. M., PRADO D. M., CORRÊA M. R. S., RAMALHO M. A. Blocos estruturais de concreto com agregados reciclados de concreto – caracterização das propriedades físicas. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2006.

GÜNTHER, W. M. R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 200. Anais. Curitiba, 2000.

JONH, V. M. J. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, 1999.

JONH, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. Perda de materiais em processos construtivos tradicionais. São Carlos, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, 1989.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

QUEBAUD, M.R., BUYLE-BODIN, F. A Reciclagem de Materiais de Demolição: Utilização dos Agregados Reciclados no Concreto. Anais. 41º Congresso Brasileiro do Concreto IBRACON, 1999.

RIBEIRO, M. S. R., JUNIOR, J. G. S., ASNAR, V.R., LOPES, W. C. S., ALVES, J.D. Concreto com Agregado Reciclado de Entulho de Obras da Cidade de Anápolis – GO. - 43º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, 2001.

ZORDAN, S.E., PAULON, V. A., JOHN, V.M. Concreto Confeccionado com entulho reciclado: avaliação do desempenho em função do consumo de cimento. *In*: II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures, 1999, Gramado. Anais... Gramado, 1999. CD: Supplementary Papers.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PUC-Campinas pelo auxílio financeiro, propiciando as condições necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.