



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

MORETTI, Juliana (1); SALES, Almir (2); ALMEIDA, Fernando (3); REZENDE, Mariana (4)

(1) Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PPGECiv) da Universidade Federal de São Carlos, (16)33518467, julianamoretti88@gmail.com, (2) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, almir@ufscar.br, (3) Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos, fernandocralmeida@gmail.com, (4) Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos, marianarezende@uol.com.br

RESUMO

A construção civil é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos. Na cidade de São Carlos (SP) a geração de resíduos da construção civil (RCC) supera em quatro vezes a geração de resíduo domiciliar. Geralmente os RCC são descartados em locais inadequados acarretando em graves problemas ambientais. Esse artigo se insere no contexto de uma alternativa para aplicação do RCC como agregado graúdo em concretos. O objetivo principal deste trabalho foi verificar a profundidade de carbonatação e as propriedades físicas dos concretos produzidos com o RCC em comparação com um concreto referência (sem o RCC). As amostras de RCC foram coletadas na usina de reciclagem do município de São Carlos e submetidas à caracterização física e química. Após o tratamento granulométrico, procedeu-se à dosagem e produção de concretos com 0%, 30%, 50% e 100% de RCC em substituição ao agregado graúdo natural. Os corpos de prova foram acondicionados durante 56 e 112 dias em câmara de carbonatação com teor de CO₂ de 15±5%, com umidade do ar e temperatura constantes. Após esse período, foi verificada a profundidade de carbonatação pelo método colorimétrico. Também foram realizados ensaios para a determinação da absorção de água, índice de vazios e resistência à compressão dos concretos. Os resultados indicaram que a utilização do RCC, principalmente no teor de 100%, provocou um aumento na absorção de água e índice de vazios dos concretos quando comparados ao concreto referência. Na idade de 56 dias, os concretos com RCC apresentaram menores valores de profundidade de carbonatação que os do concreto referência, e na idade de 112 dias, os concretos com RCC apresentaram maior profundidade de carbonatação que o concreto produzido sem o resíduo. Os resultados permitiram concluir que a utilização do RCC como substituto do agregado natural pode influenciar negativamente na durabilidade do concreto.

Palavras-chave: Resíduos, durabilidade, agregados alternativos.

ABSTRACT

The civil construction is responsible for generating a lot of waste. In the city of São Carlos (SP) the generation of construction waste (CW) exceeds four times the generation of household waste. Generally the CW are disposed in inappropriate places resulting in serious environmental problems. This article is in the context of an alternative to the application of CW as aggregate in concrete. The main objective of this study was to verify the depth of carbonation and the physical properties of concrete produced with CW compared with a concrete reference (without CW). The CW samples were collected in the municipality of São Carlos recycling plant and was performed physical and chemical characterization. After the grain size treatment, was proceeded the mixture and production of concrete with 0%, 30%, 50% and 100% of CW in replacement of natural coarse aggregate. The specimens were stored for 56 and 112 days in a carbonation chamber with CO₂ content of 15 ± 5%, constant humidity and temperature. After this period, the depth of carbonation was verified by colorimetric method. Assays for the determination of water absorption, void index and compressive strength of the concrete were also

performed. The results indicate that the use of CW, especially in the content of 100 % caused an increase in water absorption and void index of the concrete when compared to the reference concrete. At the age of 56 days, the concrete with CW had significantly lower carbonation depth of the concrete reference, and at the age of 112 days, the concrete with CW had higher carbonation depth of the concrete produced without this waste. The results showed that the use of CW as a substitute for natural aggregate can negatively influence the durability of concrete.

Keywords: waste, durability, alternative aggregates.

1 INTRODUÇÃO

Em algumas cidades a geração de RCC tem alcançado uma relação de 2 toneladas de RCC para 1 tonelada de lixo domiciliar (PINTO & GONZALES, 2005), sendo que no município de São Carlos, gera-se quatro vezes mais RCC do que o resíduo domiciliar (CÓRDOBA, 2010). A geração de RCC no município vem crescendo significativamente, sendo que no período de 2003 à 2010 atingiu 55% (MARQUES NETO 2003, CÓRDOBA 2010).

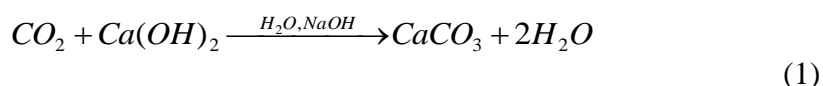
A falta de tratamento para os resíduos da construção civil pode gerar problemas sociais e ambientais tais como: a degradação de paisagens urbanas, poluição visual e também a proliferação de vetores nocivos a saúde (FAGURY & GRANDE, 2007).

Se por um lado a indústria da construção civil consome muitos recursos naturais e gera muitos resíduos, por outro lado, apresenta potencial para incorporar esses resíduos na produção de materiais de construção.

A realização de pesquisas que visem a utilização de resíduos como insumos são de grande valia, uma vez que é possível agregar valor a um resíduo que antes era descartado ao meio ambiente, e também desenvolver novos materiais para diminuir a extração de recursos naturais. Todavia, esses novos materiais obtidos a partir do uso de resíduos devem possuir propriedades e desempenho da mesma magnitude que a dos materiais e componentes convencionais, principalmente em relação à durabilidade.

Um dos principais problemas relacionados à durabilidade em estruturas de concreto armado é a corrosão de armaduras, e este fenômeno é resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, e podem estar ou não relacionados a ações físicas ou mecânicas de deterioração (RIBEIRO, et. al., 2013). O revestimento das armaduras é uma barreira física que dificulta a corrosão, e a perda desta barreira protetora pode provocar um processo de deterioração. Os fenômenos de carbonatação e contaminação por cloretos no concreto são os principais responsáveis pela perda dessa proteção (RIBEIRO, et. al., 2013).

A carbonatação é uma reação físico-química que modifica o pH da solução dos poros do concreto a valores próximos da neutralidade, ou seja, ocorre uma redução da alcalinidade que pode resultar na despassivação da armadura que encontra-se nesta região. Através da despassivação, o aço fica vulnerável à propagação da corrosão. Segundo Helene (1986), a reação da carbonatação pode ser resumida pela Equação 1.



A concentração de CO₂, umidade relativa do ar, temperatura do meio ambiente, traço e adensamento do concreto são fatores que influenciam diretamente a reação da carbonatação. (ATIS, 2003).

O objetivo deste estudo foi verificar a durabilidade potencial do concreto produzido com o resíduo da construção civil (RCC) em substituição à brita natural, por meio da

avaliação da profundidade de carbonatação e dos valores das propriedades físicas dos concretos produzidos com esse resíduo. A análise da profundidade de carbonatação utilizou o método colorimétrico, comparando-se os valores obtidos aos valores de um de um concreto referência convencional (sem o RCC).

2 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os materiais e métodos utilizados no presente estudo.

2.1 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP II E 32, areia natural, pedra britada e o agregado reciclado proveniente de resíduos da construção civil (RCC).

Os valores das propriedades físicas e químicas do cimento estão apresentados na Tabela 1, conforme os dados fornecidos pelo fabricante. O valor da massa específica foi obtido em laboratório no âmbito do presente trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas – CP II E 32

Propriedades		Unidade	Cimento	Elementos (%)	Cimento
Massa específica (NM 23) ¹		Kg/dm ³	3,05	MgO	1,57
Início de pega (NBR 6474)		min	192	PF 1000°C	5,70
Finura	Retido # 325	%	12,7	Anidrido carbônico - CO ₂	4,78
	Sup. Esp. Blaine	m ² /Kg	3491	Trióxido de enxofre - SO ₃	1,54
Resistência à compressão (f _{cj})	3 dias	MPa	19,20		
	7 dias	MPa	26,00		
	28 dias	MPa	35,90		

(Fonte: Fabricante/ ¹ Valor obtido em laboratório (LMC/UFSCar))

As amostras dos agregados reciclados de RCC foram coletadas na usina de reciclagem da cidade de São Carlos. Foi utilizado a agregado graúdo classificado por brita 1 proveniente de resíduos de concreto e argamassa (resíduo cinza). No laboratório (LMC – UFSCar), as amostras foram secas em estufa a 100 ± 5°C e foi realizada uma triagem visual para a retirada de impurezas (cerâmica vermelha, solo, madeira, metal).

Além das impurezas, o RCC apresentava variabilidade na composição e partículas com dimensões superiores a 25mm, e essas partículas poderiam prejudicar a moldagem dos concretos. Desta forma, todo o material foi peneirado com o objetivo de separar os grãos retidos nas peneiras de malhas 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 6,3 mm e 4,75 mm e fundo.

Após peneirar o material foram descartadas as partículas que ficaram retidas na peneira de malha 19 mm e o fundo. Os RCC foram utilizados como agregado graúdo na produção dos concretos, com teores de substituição, em volume, de 30%, 50% e 100%. Os valores da análise química do RCC estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do RCC

Elementos (%)	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃ +P ₂ O ₅	Perda ao fogo
RCC	58,1	14,2	8,2	7	2,1	1,9	2,2	1,0	5,17

A sílica é o principal constituinte do RCC e corresponde a um teor de 58%. A origem deste elemento está associada principalmente aos agregados naturais presentes no concreto e na argamassa que compõe o RCC. O óxido de cálcio (CaO), é o segundo elemento mais representativo, com teor de 14,2%. A presença deste óxido está associada ao aglomerante (cimento, cal) presente no RCC, uma vez que na região de São Carlos não se utilizava agregados de origem calcária.

O RCC utilizado por Ulsen, et al., 2010 apresentou composição química similar ao RCC utilizado nesta pesquisa, com teores de 65% de SiO₂, 9% de CaO e 9% de Al₂O₃.

Os ensaios de caracterização física dos agregados foram realizados segundo as normalizações brasileiras: NM 23 (2000); NM 30 (2001); NM 45 (2006); NM 52 (2009); NM 53 (2002) e NM 248 (2003).

Os resultados dessa caracterização estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Caracterização física dos agregados

Características	Unidade	Areia	Brita	RCC
Massa específica	g/cm ³	2,33	2,85	2,46
Massa unitária no estado seco e solto	kg/m ³	1.531,32	1.484,51	1.302,80
Massa unitária compactada	kg/m ³	1.639,09	1.642,90	1.437,47
Absorção de água	%	0,74	1,10	4,16
Dimensão máxima característica	mm	2,36	19	19
Módulo de finura	-	2,30	1,89	1,85
Zonas granulométricas	-	zona ótima	zona granulométrica 9,5/25	

O agregado graúdo proveniente de RCC, utilizado por Leite (2001), apresentou absorção de 4,95%, massa específica de 2,51g/cm³ e massa unitária de 1,12gcm³, valores próximos aos obtidos nesta pesquisa (Tabela 3).

Por meio dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização da brita e do RCC, foi possível verificar que a absorção de água do RCC é cerca de quatro vezes superior à absorção da brita e o valor da massa específica do RCC é 13% menor que a massa específica da brita. Os agregados de RCC são mais porosos que a brita, fato que interfere diretamente na absorção de água e massa específica do material.

2.2 Dosagem e análise dos concretos

O estudo de dosagem dos concretos com RCC e referência foi baseado no método da ABCP adaptado do ACI (American Concrete Institute).

As dosagens obtidas em laboratório estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dosagem dos concretos com RCC e referência

Traço	Teor de RCC	Composição do traço de concreto (em massa e seco)					
		Cimento	Areia	RCC	Brita	a/c	Abatimento (mm)
Referência	0%	1,00	2,00	-	2,62	0,49	77
30RCC	30%	1,00	2,00	0,68	1,83	0,50	65
50RCC	50%	1,00	2,00	1,13	1,31	0,52	65
100RCC	100%	1,00	2,00	2,26	-	0,55	70

Foi necessário variar a relação água/cimento para os traços produzidos com os resíduos com a finalidade de manter constante o abatimento (70 ± 10 mm).

O consumo de cimento e teor de argamassa dos concretos produzidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo de cimento e teor de argamassa dos traços de concreto

Traço	Consumo de cimento (Kg/m ³)	Teor de Argamassa (%)
Referência	385,28	53,38
30RCC	383,82	54,43
50RCC	380,86	55,14
100RCC	376,66	57,03

Ocorreu uma leve variação no consumo de cimento (2% para o traço 100RCC e menos de 1% para os demais traços) devido ao ajuste realizado na relação água/cimento, necessário para manter constante o abatimento (70 ± 10 mm). Como a substituição da brita pelo RCC foi realizada em volume, ocorreu uma variação no teor de argamassa. Essa substituição foi realizada em volume devido à menor massa específica do RCC em comparação com a brita. Desta forma, se a substituição tivesse sido realizada em massa, haveria um volume maior de RCC na mistura e, devido ao alto teor de absorção de água do RCC, seria necessária uma quantidade ainda maior de água na mistura para produzir misturas equivalentes à referência.

Foram moldados corpos de prova de concreto com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm de acordo com as especificações da NBR 5738 (2003).

O ensaio de carbonatação acelerada foi realizado no Laboratório de Materiais e Componentes (LMC) da UFSCar, utilizando uma câmara de carbonatação com controle da concentração de CO₂, da temperatura e da umidade relativa do ar.

Após a cura dos corpos de prova, foi iniciado o período de sazonalização com a finalidade de padronizar a temperatura e umidade das amostras antes do acondicionamento na câmara de carbonatação. Os corpos de prova permaneceram sete dias em estufa para secagem com temperatura de 50 ± 5 °C e mais sete dias em sala climatizada com temperatura de 23 ± 1 °C, e umidade relativa do ar de $60\% \pm 5\%$.

Após o sazonalização, as amostras foram acondicionadas na câmara de carbonatação com teor de $15 \pm 5\%$ de CO₂, e umidade relativa entre 60% e 85%, e o monitoramento da câmara foi realizado diariamente.

Segundo um estudo da arte realizado por Pauletti et al. (2007), diversos autores recomendam a realização de ensaios de carbonatação acelerada com teores de CO₂ inferiores a 20%, pois a utilização de teores superiores a 20% pode acarretar em mudanças microestruturais das amostras. Desta maneira, considerando o desempenho da câmara de carbonatação, e a partir da metodologia utilizada por Almeida (2012) foi adotado um teor de gás carbônico de 15 ± 5%.

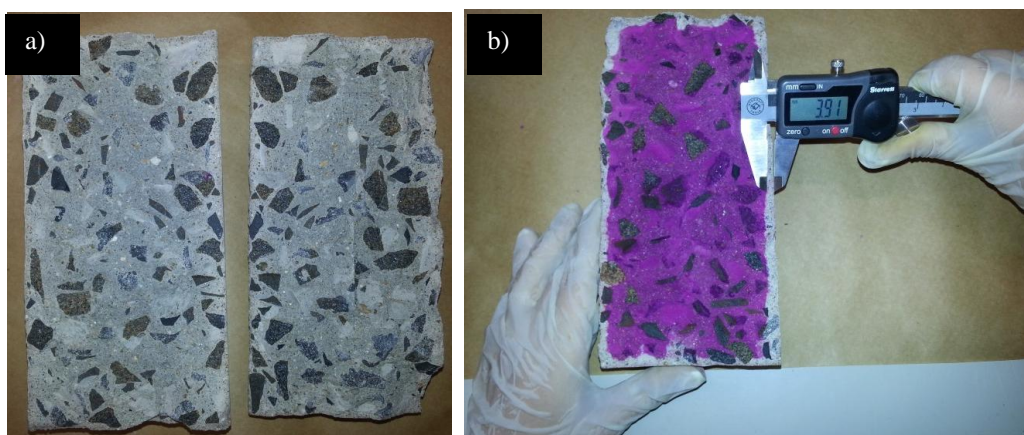
Devido a grande quantidade de corpos de prova, primeiramente foram acondicionadas as amostras para ensaio aos 56 dias, e depois as amostras para ensaio aos 112 dias. As amostras para ensaio aos 112 dias permaneceram em cura imersa até o início do sazonalamento. Foram utilizados dois corpos de prova para cada traço e para cada idade analisada.

A avaliação da profundidade de carbonatação foi realizada pelo método calorimétrico seguindo as recomendações de RILEM (1984). Primeiramente os corpos de prova foram rompidos à tração por compressão diametral, e após o rompimento (Figura 1a), uma solução de fenolftaleína (1% de fenolftaleína, 29% de água destilada, 70% de álcool isopropílico) foi aspergida na superfície das faces rompidas de cada corpo de prova. O hidróxido de cálcio adquire uma coloração rosada, enquanto a parte carbonatada permanece incolor.

A medição da profundidade de carbonatação foi realizada com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 1b), e foram obtidas 10 medidas para cada superfície do corpo de prova (cinco medidas de cada lado), totalizando 20 medidas por corpo de prova e 40 medidas por traço de concreto.

Vale salientar que esta técnica é qualitativa e pode ser utilizada como método comparativo entre amostras.

Figura 1 – a) Ruptura do corpo de prova, b) Medição da profundidade de carbonatação



Os ensaios para a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica dos concretos foram realizados de acordo com as especificações da NBR 9778 (1987), e para estes ensaios utilizaram-se três corpos de prova para cada traço de concreto (com e sem RCC). O ensaio de resistência à compressão aos 28 dias foi realizado de acordo com as especificações da NBR 5739 (ABNT, 1994), foram ensaiados quatro corpos de prova para cada traço.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no ensaio de profundidade de carbonatação pelo método colorimétrico estão apresentados na Tabela 6. Os valores obtidos foram colocados na forma gráfica para facilitar a comparação entre os traços estudados (com e sem RCC) Figura 2.

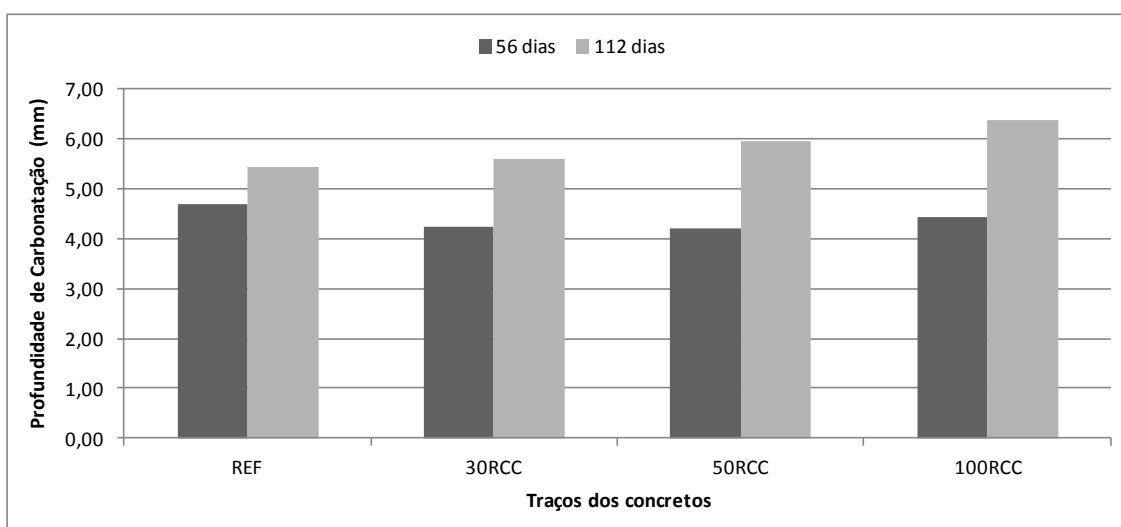
Tabela 6 - Profundidade de carbonatação dos concretos

Traços	56 dias (mm)	112 dias (mm)	Evolução Carbonatação (%)
REF	4,68	5,44	16
30RCC	4,24	5,62	33
50RCC	4,20	5,97	42
100RCC	4,42	6,38	44

Na idade de 56 dias, todos os concretos produzidos com o RCC apresentaram menor profundidade de carbonatação comparativamente ao concreto de referência.

No estudo realizado por Levy & Helene (2004), concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram profundidade de carbonatação inferiores ao concreto referência, considerando os concretos que permaneceram acondicionados durante 28 dias em câmara de carbonatação acelerada. Os agregados reciclados são constituídos por argamassa de cimento, e desta forma, os concretos produzidos com esse agregado apresentam maior reserva alcalina, e essa reserva alcalina pode atuar como proteção da superfície do concreto contra a reação da carbonatação (LEVY & HELENE, 2004).

Figura 2 – Profundidade de carbonatação aos 56 e 112 dias dos concretos



Pereira et al. (2012) realizaram um estudo sobre a durabilidade de concretos produzidos com teores de 20%, 50% e 100% de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de RCC e para 3 diferentes níveis de resistência à compressão (20MPa, 30MPa e 40MPa). A profundidade de carbonatação foi inferior ao concreto de

referência comparativamente aos concretos com agregados reciclados de 20MPa e 30MPa.

No presente estudo, para a idade mais avançada (112 dias) todos os concretos produzidos com o RCC apresentaram maior profundidade de carbonatação que o concreto referência.

No estudo realizado por Gomes & Brito (2009), concretos produzidos com RCC foram acondicionados em câmara de carbonatação por 7, 28, 56 e 90 dias com teor de CO₂ de aproximadamente 5%, sendo que os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram maior profundidade de carbonatação para todas as idades quando comparados com aos valores obtidos para o concreto de referência.

Segundo Basheer et. al. (2001), a carbonatação do concreto está relacionada com permeabilidade de gases e absorção de água. Concretos mais permeáveis são mais vulneráveis ao efeito da carbonatação devido a estrutura dos poros da matriz.

De modo geral, pode-se inferir que na idade de 56 dias, os concretos produzidos com o RCC apresentaram menor profundidade de carbonatação devido à maior reserva alcalina desses concretos provenientes dos agregados reciclados. Na idade mais avançada (112 dias), a estrutura mais porosa da matriz apresentou maior influência no fenômeno da carbonatação resultando em maiores profundidades de carbonatação para os concretos produzidos com o RCC.

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica para os concretos no presente estudo corroboram essa diferença na profundidade de carbonatação obtida para a idade de 112 dias, sendo que esses valores estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Absorção de água, índice de vazios, massa específica e resistência à compressão dos concretos

Traços	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (Kg/m ³)	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
REF	5,0	11,9	2374,3	37,8
30RCC	5,7	13,3	2325,4	37,4
50RCC	5,7	13,2	2301,8	36,4
100RCC	6,7	14,8	2224,6	31,4

Os traços com a incorporação de RCC apresentaram valores de absorção de água e índice de vazios superiores ao do concreto de referência, principalmente o traço 100RCC. O agregado de RCC apresentou absorção de água quatro vezes superior à absorção da brita, e desta forma, o RCC é mais poroso que a brita, interferindo diretamente na absorção de água e índice de vazios da matriz cimentícia.

A massa específica dos concretos produzidos com o RCC foram inferiores à massa específica do concreto de referência. O agregado reciclado de RCC apresentou massa específica 13% menor que a massa específica da brita, e desta forma, a substituição da brita pelo RCC contribuiu com a redução da massa específica dos concretos.

Os traços 30RCC e 50RCC apresentaram valores de resistência à compressão (Tabela 7) similares ao concreto de referência. Porém, a substituição de 100% do agregado natural pelo RCC resultou em uma redução de 17% na resistência à compressão em

comparação com o concreto de referência. Esse comportamento pode ser justificado pelo aumento na relação água/cimento e consequente aumento da porosidade do traço 100RCC quando comparado com os demais traços.

4 CONCLUSÕES

Os concretos produzidos com o RCC apresentaram maior absorção de água, índice de vazios e profundidade de carbonatação aos 112 dias quando comparados aos valores obtidos para o concreto referência (convencional sem RCC). Essa constatação indica que o uso do RCC pode interferir de maneira negativa na durabilidade de concretos que utilizem esse resíduo em substituição ao agregado graúdo natural.

A substituição de agregados naturais pelos agregados reciclados da construção civil deve ser realizada com cautela, principalmente se os componentes produzidos com esse resíduo ficarem em ambientes exteriores, ou em ambientes com maior concentração de CO₂.

O aumento da camada de cobertura das armaduras pode ser uma alternativa para garantir a adequada durabilidade de concretos produzidos com o RCC frente ao fenômeno da carbonatação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, à CAPES e à FAPESP, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. C. R. **Avaliação do potencial de corrosão de armaduras em concretos com substituição parcial do agregado miúdo pela areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar - ACBC**. 2013. 206f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão. Rio de Janeiro, 1987.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 23** – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da densidade absoluta. 2000.

_____. **NM 30** – Agregado miúdo– Determinação da absorção de água. 2001.

_____. **NM 45** - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2002.

_____. **NM 52** – Agregado miúdo– Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2003.

_____. **NM 53** – Agregado graúdo– Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. 2001.

_____. **NM 248** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. 2003.

- ATIS, C. D. Carbonation-Porosity-Strength model for fly ash concrete (Technical Note). **Journal of Materials in Civil Engineering**. Jan-Fev 2004, p.91-94, 2004.
- BASHEER, L., KROPP, J., CLELAND, D. J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. **Construction and Building Materials**, Vol. 15, p. 93-103, 2001.
- CÓRDOBA, R. E. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição so município de São Carlos – SP**. 2010. 372f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.
- FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. Gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. **Exacta**, São Paulo, v.5, n.1, p.35-45, jan./jun. 2007.
- GOMES, M.; BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. **Materials and Structures**, v.42, p.663-675, 2009.
- HELENE, P. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: PINI / IPT, 45 p., 1986.
- LEVY, S. M.; HELENE, P. Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 11, p. 1975-1980, 2004.
- LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre. 2001.
- MARQUES NETO, J. C. **Diagnóstico para estudo de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição do Município de São Carlos-SP**. 2003. 155f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.
- PAULETTI, C; POSSAN, E.; DAL MOLIN, D. C. C. Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 7-20, out/dez 2007.
- PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**. vol.12, n.3, pp. 125-134, 2012.
- PINTO, T. P., GONZALES, J. L. R., (Coordenadores) **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil. Manual de orientação**. Como implementar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Parceria técnica entre o Ministério das Cidades, Ministérios do Meio Ambiente e Caixa Econômica Federal. Brasília: CAIXA, 2005.
- RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise**, Rio de Janeiro: Elsevier, 1ed, 2013, 244 p.
- RILEM Concrete Permanent Comitee . RILEM Draft Recommendation - Measurement of hardened concrete carbonation depth CPC-18. **Materials and Structures**, v.17, n. 102, p. 435-440, 1984.
- ULSEN, C.; KAHN, H.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo. Rem: **Rev. Esc. Minas**, vol 63, n.2, pp. 339-346, 2010.