A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARBONATAÇÃO DE CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS

Lovato, P. S.[1], Masuero, A. B.[2], Dal Molin, D. C. C.[3]

[1] Universidade de Passo Fundo, Professora, Mestre, e-mail: patricialovato@upf.br
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor adjunto, Doutora, e-mail: angela.masuero@ufrgs.br
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor adjunto, Doutora, e-mail: dmolin@ufrgs.br

RESUMO

Objetivando avaliar a influência da variabilidade da composição dos resíduos de construção e demolição na absorção de água e na carbonatação de concretos produzidos com agregados reciclados, foi realizado um projeto experimental fracionado, variando-se os teores de substituição (0%, 50% e 100%) dos agregados naturais pelos reciclados. Os agregados reciclados foram originados de resíduos de construção e demolição coletados em três cidades. Para cada coleta foram moldadas quinze combinações de concretos com diferentes teores de agregados reciclados, com relações água/cimento iniciais de 0,5; 0,6 e 0,7. Foram realizados ensaios de absorção de água e de carbonatação acelerada. Os resultados demonstram que a absorção de água e a profundidade de carbonatação foram influenciadas pela composição do resíduo, sendo que os resultados foram menores quanto maior o percentual de resíduos de concreto e argamassa. Porém, devido ao diferente comportamento entre coletas quando avaliado o efeito isolado dos agregados reciclados, constatou-se que as propriedades estudadas foram influenciadas pelas características destes agregados, como densidade, absorção, composição e granulometria, e estas dependem da composição dos resíduos de construção e demolição.

Palavras chave: agregados reciclados; resíduos de construção e demolição; absorção de água; carbonatação; concreto.

ABSTRACT

In order to evaluate the influence of variability of the composition of construction and demolition (C&D) wastes in the water absorption and carbonation of concretes produced with recycled aggregates, was performed a fractional experimental design, using three substitution levels (0%, 50%, 100%) of natural aggregates by recycled, both fine and coarse. Recycled aggregates were obtained from C&D wastes collected in three different places. For each place were molded fifteen mixtures of concrete with different contents of recycled aggregates and water/cement ratios initials of 0,5; 0,6; 0,7. Were performed water absorption and accelerated carbonation tests. The water absorption and the carbonation depth were influenced by the composition of C&D wastes and the results were smaller the higher the percentage of waste concrete and mortar. However, due to the different behavior between collections when evaluated the isolated effect of recycled aggregates, it was observed that the properties studied were influenced by the characteristics of these aggregates, such as density, absorption, composition and particle size, and these depend of the composition of C&D wastes.

Keywords: recycled aggregates; construction and demolition wastes; water absorption; carbonation; concrete.

1. INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção consome grandes quantidades de recursos naturais e gera grande volume de resíduos, tanto provenientes das construções como também de demolições, provocando grande impacto ambiental. Com o elevado crescimento da Construção Civil no Brasil nos últimos anos, a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) também aumentou. Conforme dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2012), considerando apenas os RCD coletados pelo poder público no Brasil foram mais de 35 milhões de toneladas recolhidas em 2012. Este número representa um aumento de 5,3% em relação ao ano anterior, sendo mais que o triplo do crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos, conforme dados também levantados pela ABRELPE (2012).

A preocupação ambiental crescente nos últimos anos, assim como a publicação de recomendações normativas referentes ao tema, como a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) e a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) vem impulsionando uma melhor gestão dos resíduos gerados nas obras e a busca por formas de reaproveitamento pelas empresas construtoras. Uma alternativa é a utilização de resíduos de construção e demolição como agregados em concretos e argamassas. A reciclagem dos RCD contribui para a redução do consumo de recursos naturais e energia e da quantidade de materiais depositados em aterros.

Diversas pesquisas já foram realizadas em todo o mundo, apontando a viabilidade da utilização dos agregados reciclados no concreto, dependendo do percentual de substituição, como por exemplo, as de Rashwan e AbouRizk (1997), Leite (2001), Shayan e Xu (2003) e Levy e Helene (2004). Entretanto, a grande diversidade na composição dos agregados reciclados e, consequentemente, na massa específica e na porosidade, interfere no comportamento dos concretos produzidos com estes. Conforme Lovato (2007), o conhecimento dessa variabilidade poderia permitir o controle dos valores de resistência dos concretos produzidos a partir destes agregados. Lovato (2007) e Cabral (2007) verificaram a influência de diferentes composições dos RCD em propriedades dos concretos, observando que as variações de resistência à compressão e módulo de deformação, por exemplo, apresentaram variações máximas de 10%, concluindo-se assim que a variabilidade do RCD não inviabiliza seu uso.

Além das propriedades mecânicas, o conhecimento de aspectos referentes à durabilidade dos concretos é extremamente importante para que a utilização de materiais alternativos seja viabilizada. Conforme Neville (1997) a durabilidade de um concreto depende da facilidade de transporte dos fluídos, líquidos ou gases, em seu interior. De acordo com Cabral (2007) o

concreto com RCD tende a ser mais poroso que o concreto com agregados naturais, devido à porosidade do agregado reciclado e também devido à interação entre a pasta e os agregados reciclados.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência da variabilidade dos resíduos de construção e demolição na absorção de água e na carbonatação de concretos produzidos com agregados reciclados.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Planejamento do experimento

Primeiramente foram definidas as variáveis independentes: relação água/cimento (0,5; 0,6 e 0,7), percentuais de substituição dos agregados miúdos e graúdos (0%, 50% e 100%) e origem dos resíduos de construção e demolição (três cidades). Considerando os três fatores controláveis (relação a/c, %AGR e %AMR), cada um com três níveis, resultou em 27 variáveis para cada origem do resíduo. Em função da limitação de tempo, realizou-se um projeto experimental fracionado, utilizando o Projeto Composto de Segunda Ordem (PCSO), reduzindo o número de misturas para quinze por coleta, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: combinações analisadas no programa experimental

Experimento nº	a/c inicial	%AMR	%AGR
1	0,5	0	0
2	0,5	100	0
3	0,5	0	100
4	0,5	100	100
5	0,5	50	50
6	0,7	0	0
7	0,7	100	100
8	0,7	0	100
9	0,7	100	0
10	0,7	50	50
11	0,6	50	50
12	0,6	0	50
13	0,6	100	50
14	0,6	50	100
15	0,6	50	0

2.2 Materiais utilizados

Para a produção dos concretos foi utilizado cimento Portland CP IV 32-RS, areia quartzosa média, brita de origem basáltica, agregados reciclados graúdos e miúdos e água. Os agregados reciclados foram obtidos através de britagem dos resíduos de construção e demolição coletados em três cidades da região metropolitana de Porto Alegre (São Leopoldo, Porto

Alegre e Novo Hamburgo, identificadas como Coleta 1, 2 e 3, respectivamente). A composição dos RCD coletados encontra-se na Tabela 2. Nas Tabelas 3 e 4 são apresentadas as caracterizações dos agregados e do cimento utilizado, respectivamente.

Tabela 2: constituintes percentuais dos resíduos de construção e demolição coletados

Material	Coleta 1 (%)	Coleta 2 (%)	Coleta 3 (%)
Argamassa	22,5	44,2	34,9
Cerâmica vermelha	32,8	35,6	23,2
Concreto	26,9	18,3	27,3
Rochas	17,4	1,8	14,4
Cerâmica branca	0,4	0,1	0,2
Total	100,0	100,0	100,0

Tabela 3: caracterização dos agregados utilizados

Agregado	Miúdo				Graúdo			
	Natural	C1	C2	C3	Natural	C1	C2	C3
Massa específica (kg/m³)	2620	2530	2520	2640	2850	2580	2570	2640
Massa unitária (kg/m³)	1520	1290	1390	1230	1470	1120	1060	1020
Absorção de água (%)	-	6,00	7,40	11,70	-	10,00	4,30	5,10
Módulo de finura	2,89	2,75	3,24	2,82	6,88	6,47	7,03	7,13

Tabela 4: características químicas, físicas e mecânicas do cimento utilizado

Propriedades químicas		Propriedades físicas e mecânicas		
Composição química	Resultado* (%)	Propriedades		Resultado
Al_2O_3	9,88	Tempo de pega	Início (min)*	225
SiO_2	35,27		Final (min)*	305
Fe_2O_3	3,81	Água de consistência normal (%)*		34,4
CaO	38,14			
MgO	4,7	Blaine (cm²/g)*		4765
SO_3	2,75	Material retido #200 mesh (%)*		0,5
CO_2	2,6	Material retido #325 mesh (%)*		3,4
K_2O	1,11	Massa específica (kg/m³)		2710
Na_2O	0,14	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	17,6
Perda ao fogo	3,74		7 dias	23,6
Resíduos insolúveis	32,25		28 dias	32,4

2.3 Produção dos concretos

Primeiramente foi realizada uma dosagem experimental do concreto, através do método IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992), fixando o abatimento em 100±20 mm, o qual foi medido pelo ensaio descrito na NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1998). Os traços do concreto de referência foram estabelecidos a partir do diagrama de dosagem, definindo-se seus traços unitários. A partir destes foram determinados os traços para a produção do concreto com agregados reciclados, levando-se em consideração o percentual de substituição e a compensação dos volumes de acordo com as massas específicas dos agregados reciclados, que foi calculada através da Equação (1).

$$M_{ar} = M_{an} \times \frac{\gamma_{ar}}{\gamma_{an}} \qquad (1)$$

Onde: M_{ar} = massa do agregado reciclado (kg); M_{an} = massa do agregado natural (kg); γ_{ar} = massa específica do agregado miúdo reciclado (kg/m³); γ_{an} = massa específica do agregado miúdo natural (kg/m³).

A fim de compensar parcialmente a alta absorção dos agregados reciclados foi realizada pré-umidificação deles quinze minutos antes da execução da mistura, a partir dos dados obtidos pelos ensaios de absorção de água. O procedimento é recomendado pela NBR 15116 (ABNT, 2004) e também por alguns autores (OLIVEIRA; VAZQUEZ, 1996; LEITE, 2001) e evita que a água de amassamento seja absorvida pelo agregado. Na Tabela 5 apresentam-se os percentuais de água que foram empregados na pré-umidificação. Os valores nela mostrados correspondem à taxa de absorção do material aos 15 minutos de ensaio e foram determinados a partir de curvas obtidas nos ensaios de absorção dos agregados.

Tabela 5: percentuais de água sobre a massa de agregado empregados na pré-umidificação

Agregado	Miúdo			Graúdo		
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3
% de água sobre a massa de material	3,0	4,1	9,2	7,0	3,0	2,5

Após o procedimento de pré-umidificação, os materiais eram colocados na betoneira, realizando-se a mistura. Não foi utilizado aditivo plastificante ou superplastificante. Partindo-se das relações a/c iniciais determinadas pela dosagem, caso não fosse atingida a trabalhabilidade de 100±20 mm, medida pelo abatimento de tronco de cone, era acrescentada água à mistura, resultando em uma nova relação a/c para cada traço executado.

Alcançado o valor de abatimento estabelecido, foram moldados quatro corpos-de-prova cilíndricos (9,5 x 19,0 cm, diâmetro x altura) para cada traço produzido, de acordo com a

NBR 5738 (ABNT, 2008). A cura dos mesmos realizou-se em ambiente de laboratório, nas primeiras 24 horas e, depois de desmoldados, foram colocados em câmara úmida, com umidade relativa superior a 95% e temperatura de 23±1°C.

2.4 Métodos de ensaio

2.4.1 Ensaio de absorção de água dos concretos

A absorção de água dos concretos foi determinada seguindo a prescrição da norma NBR 9778 (ABNT, 2009), pela qual se obtém a absorção de água por imersão. Para cada traço, foram ensaiados dois corpos-de-prova, sendo que o procedimento tinha início com a colocação destes em estufa, aos 63 dias de idade.

2.4.2 Ensaio de carbonatação acelerada

Para o ensaio de carbonatação acelerada, após 63 dias em câmara úmida, os corpos-de-prova foram serrados com disco diamantado, sendo divididos em duas partes com 6 cm de altura, conforme a figura 1. Dessa forma, foram obtidos quatro corpos-de-prova por traço. O topo e a base dos corpos-de-prova iniciais foram descartados. A seguir, os corpos-de-prova obtidos eram colocados em sala climatizada, com temperatura de 25±1°C e umidade relativa de 65±5%, onde permaneciam por 16 dias, visando estabilizar sua umidade interna. Antes de serem colocados na câmara de carbonatação, o topo e a base dos corpos-de-prova eram impermeabilizados com parafina, de modo que a penetração do gás carbônico ocorresse somente através das superfícies laterais.

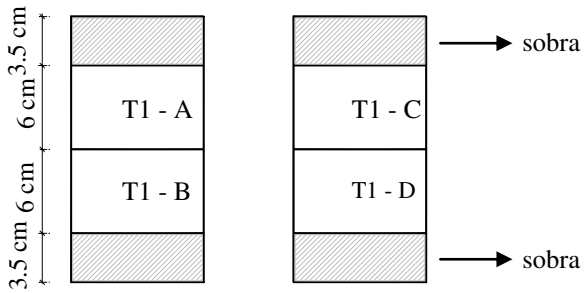


Figura 1: representação esquemática dos cortes nos corpos-de-prova

Após o período de estabilização da umidade, os corpos-de-prova eram colocados em câmara de carbonatação, com 6% de gás carbônico, localizada em sala climatizada com temperatura de 25±1°C e umidade relativa de 65±5%, onde permaneceram até as idades de 7, 14, 28 e 56 dias, quando eram retirados para medição da profundidade de carbonatação. Esta foi feita através da ruptura dos corpos-de-prova diametralmente e, em seguida, aspergindo-se solução de fenolftaleína a 1%, dissolvida em 70% de álcool etílico e 30% de água destilada, verificando-se as áreas carbonatadas e não-carbonatadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados nos ensaios experimentais foram analisados estatisticamente, avaliando-se a influência das variáveis independentes nos concretos produzidos. A partir dos dados do projeto do experimento foram obtidos os modelos matemáticos que representam o comportamento dos concretos para as variáveis de resposta em estudo, através de análise de regressão não-linear. Como a análise de variância dos resultados experimentais mostrou que a influência de cada variável independente sobre as propriedades avaliadas foi diferente para cada coleta, para cada uma foi construído um modelo matemático.

Os modelos de regressão e os coeficientes de determinação (R^2) para a absorção de água e profundidade de carbonatação do concreto estão apresentados nas Equações (2)-(7). Nelas os percentuais de substituição dos agregados miúdos e graúdos, o valor de m e o tempo de ensaio devem ser informados conforme os valores codificados apresentados na Tabela 6.

$$A_{C1}= (10{,}26\times a/c)\times[1-(-0{,}56\times AGR)]\times[1-(-0{,}21\times AMR)]\times[1-(0{,}12\times m)]\times [1-(0{,}28\times AGR\times AMR)]\times[1-(0{,}05\times m\times AMR)]\times[1-(0{,}12\times m\times AGR)] \quad (2)$$

$$R^2 = 0{,}90$$

$$A_{C2}= (5{,}58\times a/c)\times[1-(-0{,}13\times AGR)]\times[1-(-0{,}19\times AMR)]\times[1-(0{,}10\times m)]\times [1-(-0{,}007\times AGR\times AMR)]\times[1-(-0{,}04\times m\times AMR)]\times[1-(-0{,}07\times m\times AGR)] \quad (3)$$

$$R^2 = 0{,}90$$

$$A_{C3}= (7{,}14\times a/c)\times[1-(-0{,}10\times AGR)]\times[1-(-0{,}16\times AMR)]\times[1-(0{,}10\times m)]\times [1-(0{,}19\times AGR\times AMR)]\times[1-(0{,}006\times m\times AMR)]\times[1-(-0{,}001\times m\times AGR)] \quad (4)$$

$$R^2 = 0{,}53$$

$$e_{CO2C1} = 30{,}87\times a/c\times[1-(-0{,}15\times AGR)]\times[1-(-0{,}087\times AMR)]\times [1-(-0{,}13\times m)]\times[1-(-0{,}43\times te)] \quad (5)$$

$$R^2 = 0{,}87$$

$$e_{CO2C2} = 25{,}36\times a/c\times[1-(-0{,}07\times AGR)]\times[1-(-0{,}11\times AMR)]\times [1-(-0{,}14\times m)]\times[1-(-0{,}56\times te)] \quad (6)$$

$$R^2 = 0{,}92$$

$$e_{CO2C3} = 27{,}75\times a/c\times[1-(-0{,}05\times AGR)]\times[1-(-0{,}19\times AMR)]\times [1-(-0{,}14\times m)]\times[1-(-0{,}52\times te)] \quad (7)$$

$$R^2 = 0{,}90$$

Onde: A_{C1} = absorção de água para a coleta 1 (%); A_{C2} = absorção de água para a coleta 2 (%); A_{C3} = absorção de água para a coleta 3 (%); e_{CO2C1} = profundidade de carbonatação para a coleta 1 (mm); e_{CO2C2} = profundidade de carbonatação para a coleta 2 (mm); e_{CO2C3} = profundidade de carbonatação para a coleta 3 (mm); a/c = relação a/c real; AGR = percentual de agregado graúdo reciclado, codificado segundo a tabela 6; AMR = percentual de agregado miúdo reciclado, codificado segundo a Tabela 6; m = relação agregados secos/cimento em massa, codificado segundo a Tabela 6; te = tempo de ensaio, codificado segundo a Tabela 6.

Observa-se que o coeficiente de determinação para o modelo para a absorção de água da Coleta 3 foi baixo. Portanto, os resultados e tendências obtidos através do modelo desta coleta podem não representar corretamente o comportamento dos concretos quanto à absorção de água.

Tabela 6: níveis codificados das variáveis independentes AGR, AMR, m e tempo de ensaio

Codificação dos níveis					
AGR	nível real	0%		50%	100%
	nível codificado	-1		0	1
AMR	nível real	0%		50%	100%
	nível codificado	-1		0	1
m	nível real	4,38		5,63	6,88
	nível codificado	-1		0	1
Tempo de ensaio	nível real	7	14	28	56
	nível codificado	-1	-0,71	-0,14	1

Na Figura 2 é mostrado o efeito da variável coleta sobre a absorção de água e sobre a profundidade de carbonatação. O gráfico foi obtido através das respectivas equações apresentadas anteriormente, mantendo as variáveis AGR, AMR e m no ponto médio de cada uma delas e considerando como tempo de ensaio de carbonatação 28 dias. Para os níveis codificados utilizados, colocando-os no modelo de resistência à compressão apresentado em Lovato (2007), obtêm-se para as Coletas 1, 2 e 3 respectivamente, 19,9 MPa, 19,7 MPa e 18,7 MPa.

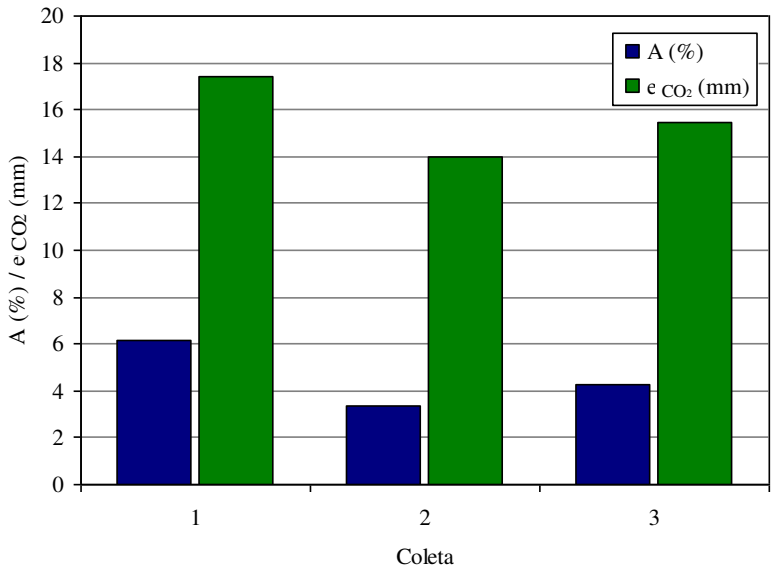


Figura 2: absorção de água e profundidade de carbonatação em função da origem do RCD

Observa-se na Figura 2 que para ambas as propriedades avaliadas a Coleta 2 apresentou o melhor desempenho e a Coleta 1 o pior desempenho, com os maiores valores de absorção de água e profundidade de carbonatação.

As maiores profundidades de carbonatação apresentadas pelos concretos produzidos com os agregados reciclados provenientes da Coleta 1 podem estar relacionadas com a composição do RCD desta coleta. Conforme pode ser verificado na Tabela 2, a Coleta 1 apresentou menor quantidade de argamassa e concreto que as outras coletas, em torno de 49%, enquanto que as Coletas 2 e 3 possuem aproximadamente 62% destes mesmos componentes. Conforme Levy e Helene (2004) os agregados reciclados de concreto são constituídos parcialmente por argamassa antiga com cimento e hidróxido de cálcio, os quais podem provocar um aumento na reserva alcalina dos concretos, protegendo sua superfície contra os mecanismos de carbonatação.

Com relação à absorção de água não é possível determinar uma relação direta com a composição dos RCD. Em virtude da distribuição dos materiais presentes no RCD da Coleta 1, a absorção de água nesta coleta deveria ser menor que da coleta 2, uma vez que esta última apresenta maior quantidade de argamassa e cerâmica vermelha em sua composição. Porém, observando-se os valores de absorção dos agregados, percebe-se que o AGR da Coleta 1 apresentou um valor muito elevado em comparação as outras duas coletas. Neste caso, é possível que absorção de água dos concretos tenha sido influenciada apenas pelo agregado graúdo, o que será abordado durante a análise da Figura 3.

A Figura 3 mostra a influência, de forma isolada, para cada coleta, do aumento do percentual de substituição dos agregados, miúdos ou graúdos, nas propriedades avaliadas. Para a obtenção desses gráficos, variou-se o nível codificado AMR ou AGR, em cada caso, mantendo as variáveis m e a/c em seus níveis médios, AMR ou AGR no nível inferior e no caso da profundidade de carbonatação, adotou-se para a variável “tempo de ensaio”, o nível codificado referente a 28 dias. Para estes níveis codificados empregados, a resistência à compressão, utilizando o modelo matemático de Lovato (2007), estaria entre 19,0 e 25,0 MPa.

Observa-se nos gráficos da Figura 3 que houve um comportamento diferente entre as coletas. Para a Coleta 1 constata-se uma grande influência do aumento do percentual de agregados reciclados nas propriedades avaliadas, sendo que o efeito do agregado graúdo reciclado é maior. Para as outras coletas observa-se exatamente o oposto, uma maior influência do agregado miúdo.

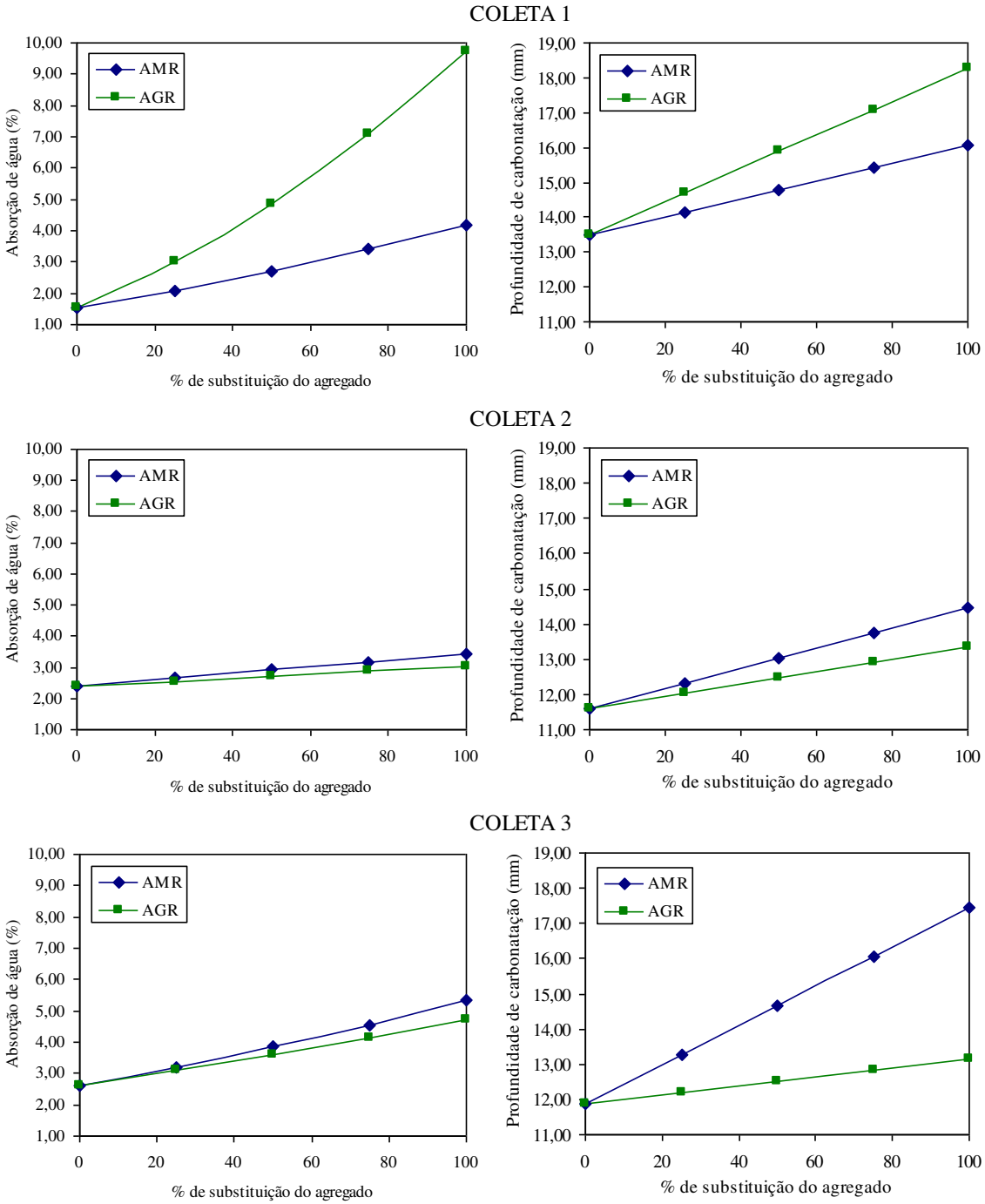


Figura 3: efeito do percentual de substituição dos agregados reciclados na absorção de água e profundidade de carbonatação dos concretos, para as diferentes origens de RCD

Analisando os gráficos de absorção de água (Figura 3), para a Coleta 1 quando 100% de AMR é colocado na mistura, esta aumenta quase três vezes em relação ao concreto de referência,

enquanto quando 100% de AGR é colocado na mistura, a absorção aumenta mais de seis vezes. Já na Coletas 2 e 3, foi o agregado miúdo reciclado quem exerceu maior influência, sendo que na Coleta 2, o efeito de ambos agregados reciclados no concreto não foi muito relevante e na Coleta 3 quando 100% de AMR é colocado na mistura, a absorção de água dobra em relação à do concreto de referência. No entanto, é importante lembrar que o modelo matemático obtido para a Coleta 3 apresentou baixo coeficiente de determinação, ou seja, é possível que o gráfico não represente o real comportamento do concreto quanto à absorção de água.

Com base no que foi observado, considerando-se que os aumentos percentuais da absorção ocorridos nas Coletas 2 e 3 foram baixos, pode-se constatar que foi o agregado graúdo reciclado que mais influenciou na absorção de água dos concretos. Leite (2001) observou que no concreto com agregados reciclados a matriz e a zona de transição praticamente se confundem. Além disso, os produtos de hidratação cobrem a superfície dos agregados reciclados, densificando a zona de transição. A autora comprovou que ocorre a formação de produtos de hidratação na superfície porosa e rugosa do agregado devido à absorção da pasta de cimento pelo material reciclado. Dessa forma, os agregados miúdos reciclados absorvem a pasta de cimento, fechando seus poros. No caso dos agregados graúdos reciclados, devido à sua dimensão, isto não acontece e, por isso, é possível que a absorção dos concretos fique condicionada apenas à porosidade dos agregados graúdos. É importante destacar, que conforme mostrado na Tabela 3, o agregado graúdo da Coleta 1 apresentou elevada absorção de água, o dobro que a absorção dos agregados das outras coletas.

Observando os gráficos de profundidade de carbonatação (Figura 3), em geral a elevação do teor de AGR e AMR não apresentou grande influência, observando-se aumento na profundidade de carbonatação inferior a 5 mm em relação ao concreto de referência, com exceção da Coleta 3, onde a utilização de 100% de AMR provoca um aumento de 47% na profundidade de carbonatação. Eguchi et al. (2007) e Lovato et al. (2012) também encontraram profundidades de carbonatação semelhantes entre concretos produzidos com agregado reciclado e natural.

Para as Coletas 2 e 3 constata-se uma maior influência do agregado miúdo reciclado, fato também observado por Shayan e Xu (2003). Em contraponto, no caso da Coleta 1, da mesma forma que para a absorção de água, foi o agregado graúdo reciclado que exerceu maior influência, sendo que quando utilizado 100% de AGR observa-se um aumento de 35% na profundidade de carbonatação e para 100% de AMR o aumento é de 19% em relação ao concreto de referência. Assim como foi colocado para a absorção de água, isto deve estar relacionado à porosidade do agregado, uma vez que o agregado graúdo desta coleta apresentou uma absorção de água de 10%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que tanto absorção de água como a profundidade de carbonatação são influenciadas pela variabilidade da composição dos RCD. Porém, apesar de as coletas que possuíam maior percentual de concreto e argamassa na sua composição terem apresentado melhores resultados, não se pode relacionar diretamente o desempenho dos concretos com os materiais constituintes dos RCD.

O aumento no percentual de agregados reciclados, tanto graúdo como miúdo, na produção de concretos, afeta as propriedades avaliadas, reduzindo o seu desempenho. Com base na avaliação dos efeitos isolados do aumento do percentual de substituição dos agregados observou-se que enquanto para a Coleta 1 o agregado graúdo reciclado exerceu maior influência, o que pode estar relacionado com a elevada absorção do material empregado, para as outras coletas foi o agregado miúdo que mais prejudicou o desempenho.

Constata-se, portanto, que as propriedades avaliadas foram influenciadas pelas características dos agregados reciclados, como densidade, absorção, composição e granulometria, sendo que estas dependem da composição dos resíduos de construção e demolição que originaram os agregados reciclados.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2012. Edição especial de 10 anos. Disponível em: < http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20%20Panorama2012.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República, Casa Civil. 2010. Disponível em:<

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 06 jan. 2014.

CABRAL, A. E. B.. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 280p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 307. 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 01 mar. 2012.

EGUCHI, K., TERANISHI, K., NAKAGOME, A., KISHIMOTO, H., SHINOZAKI, K., NARIKAWA, M.. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 7, pp. 1542-1551, july 2007.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P.. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto.** 349p. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, 1992.

LEITE, M. B.. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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, nov. 2004.

LOVATO, P. S.. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** 2007. 180p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOVATO, P. S., POSSAN, E., DAL MOLIN, D. C. C., MASUERO, A. B., RIBEIRO, J. L. D.. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. **Construction and Building Materials**, v. 26, n. 1, pp. 437-447, jan. 2012.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto.** 2 ed. São Paulo: PINI, 1997. 828 p.

OLIVEIRA, M. B., VAZQUEZ, E.. The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete, **Waste Management**, v.16, n.1-3, pp.113-117, 1996.

RASHWAN, M. S.; ABOURIZK, S.. The properties of recycled concrete. **Concrete International**, v. 19, n. 7, p. 56-60, july 1997.

SHAYAN, A.; XU, A.. Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate. **ACI Materials Journal**, v.100, n.5, p.371-380, sep/oct. 2003.