

ESTUDO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO. Rodrigo de Camargo Sartori, Antonio Anderson da Silva Segantini, Camilo Mizumoto – Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia Civil – Campus de Ilha Solteira.

A construção civil é a maior geradora de resíduos de toda a sociedade, além de ser responsável por cerca de 40% do consumo de recursos naturais extraídos no planeta (SANTOS, 2005). A cidade de São Paulo gera 0,50 t/hab.ano e recicla apenas 10% deste total. Isto demonstra a necessidade de investimentos para que se aumente a porcentagem efetiva reciclada, possibilitando a minimização dos impactos ambientais causados pela deposição desses materiais.

Entre os resíduos gerados, os de concreto apresentam enorme potencial para a reciclagem, sobretudo quando oriundos da demolição de pavimentos de concreto. Neste caso, as propriedades básicas dos resíduos podem ser bem definidas, pois praticamente não há variabilidade na sua composição e a possibilidade de contaminação com outros materiais é muito pequena. Assim, o agregado reciclado de concreto (ARC) pode ser utilizado com vantagens técnicas e redução de custos na confecção de novos pavimentos, sobretudo nos pavimentos intertravados de concreto.

Nos dias atuais, nos projetos de revitalização de praças, jardins e espaços públicos, os pavimentos intertravados estão sendo cada vez mais utilizados. Nesse contexto, visando propor uma alternativa ambientalmente correta, objetivou-se neste trabalho estudar os ARC provenientes da demolição de pavimentos pré-existentes, incorporando-os na fabricação dos pavimentos intertravados.

Os agregados naturais utilizados neste trabalho (Figura 1) constituíram-se de pedrisco ($D \leq 7,0$ mm), areia fina lavada e areia média lavada.



Figura 1: Agregados naturais: Pedrisco, areia fina e areia média.

O ARC foi coletado em meio ao material descartado após a demolição e reforma de uma calçada existente no Campus da UNESP em Ilha Solteira, sendo posteriormente triturado em um pequeno britador de facas e peneirado na peneira 4,8 mm.

Foram realizados ensaios para a caracterização granulométrica para agregados, determinação da umidade e massa unitária. Para o agregado fino foram realizados ensaios de absorção, análise das impurezas orgânicas e massa específica. Para o agregado graúdo foram determinadas a massa específica aparente e absorção. Para o ARC foram empregados os mesmos ensaios do agregado fino, realizando-se também a análise de sais cloretos e sulfatos e atividade pozolânica. Esses ensaios foram realizados em conformidade com a normalização técnica brasileira pertinente. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 1 e 2 e os perfis granulométricos nas Figuras 2 e 3. O material cimentício utilizado foi o cimento Itaú CPH Z-32. Visando a confecção de concreto de consistência plástica, de boa trabalhabilidade, porém com baixo fator água/cimento (a/c), utilizou-se um aditivo hiperplastificante / redutor de água à base de policarboxilato.

No concreto produzido, adotou-se o traço 1:3:0,36 (aglomerante: agregados: fator a/c) com 0,70% de aditivo em relação à massa de cimento. Foram realizadas substituições dos agregados

naturais pelo reciclado, de 15% em 15%, até se atingir 100% de substituição. Na Tabela 3 são apresentados os traços estudados.

Tabela 1: Características físicas dos agregados

Agregado	ϕ máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica			Absorção (%)	Pulverulento (%)	Massa unitária	
			s.s.s. (g/cm³)	seco (g/cm³)	aparente (g/cm³)			solta (g/cm³)	solta 4% umid. (g/cm³)
Pedrisco	9,51	5,53	2,90	2,84	3,02	2,08	0,95	-	-
Areia fina	1,18	2,14	2,62	2,62	2,62	0,34	0,88	1,47	1,18
Areia média	1,90	2,27	2,37	2,65	2,63	0,34	0,19	1,46	1,10
Resíduo	4,75	2,60	2,63	2,70	2,63	1,71	5,63	1,44	1,39

Tabela 2: Características químicas do resíduo de concreto

Sais (%)	Cloretos (%)	Sulfatos (%)	Atividade		Água requerida (%)
			Cimento (%)	Cal (MPa)	
0,33	0,0024	0,064	44,8	0,3	110,4

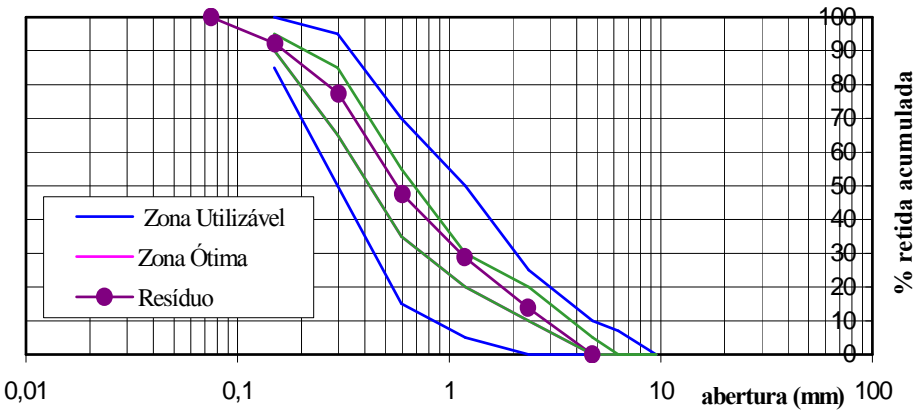


Figura 2: Curva granulométrica dos agregados naturais

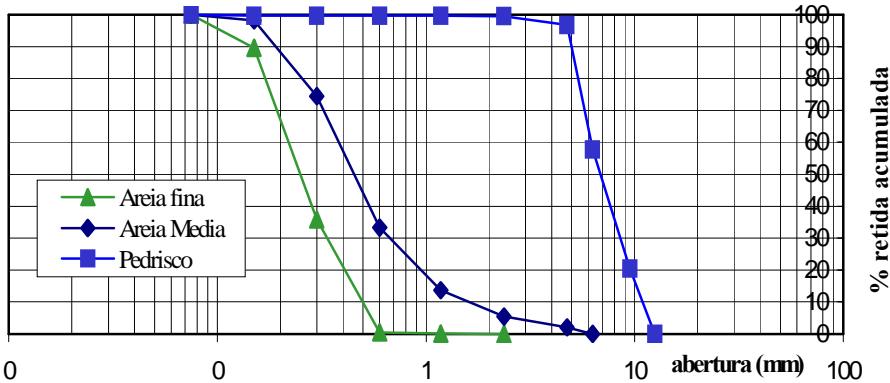


Figura 3: Curva granulométrica do resíduo

Os agregados empregados apresentaram características técnicas dentro das prescrições normalizadas, sendo, portanto, passíveis de utilização na confecção do concreto.

Objetivou-se, na produção do concreto, possibilitar a confecção de peças de pavimento em fôrmas plásticas, sendo para isto requerida uma consistência bastante plástica. Foram confeccionados 05

corpos-de-prova com dimensão de 10x20 cm² e realizados ensaios de compressão simples aos 7, 14, 28 e 56 dias.

Tabela 3: Traços estudados

Substituição (%)	Traço 1 : AMN : AGN : ARC
0	1 : 1,36 : 1,64 : 0,00
15	1 : 1,16 : 1,39 : 0,45
30	1 : 0,95 : 1,15 : 0,90
45	1 : 0,75 : 0,90 : 1,35
60	1 : 0,54 : 0,66 : 1,80
75	1 : 0,34 : 0,41 : 2,25
90	1 : 0,14 : 0,16 : 2,70
100	1 : 0,00 : 0,00 : 3,00

AMN = Agregado miúdo natural; AGN = Agregado graúdo natural

A consistência e a viscosidade do material foram estudadas segundo o ensaio da Caixa “L” (alturas h_2 / h_1), obtendo-se resultados aceitáveis para a confecção das peças de piso intertravado. A avaliação da fluidez (*slump-flow*) é mostrada na Figura 4 e na Figura 5 mostra-se a relação a/c em relação à percentagem de substituição de agregados naturais pelo reciclado.

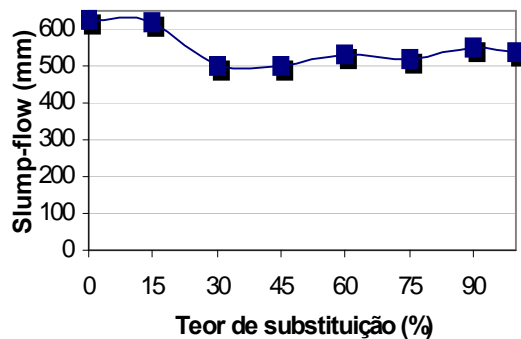


Figura 4: Espreadimento x teor de substituição

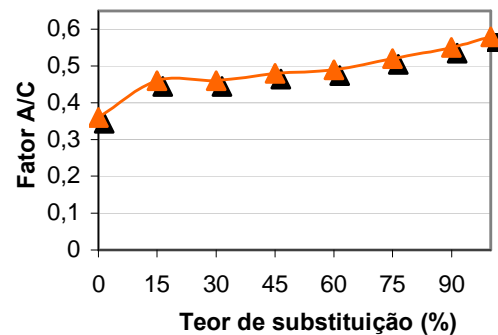


Figura 5 – Fator a/c x teor de substituição

O espraioamento diametral, a partir da adição de 30%, mostrado na Figura 4, alcançou os valores mínimos de 500 mm, sendo ideal a faixa de 600 mm a 700 mm. A elevada taxa de material pulverulento presente no resíduo (tabela 1) gerou um acréscimo de 17,2% de água na mistura, confirmando a necessidade de uso do aditivo. As demais características físicas avaliadas no estado fresco, como massa específica e o teor de incorporação de ar, são apresentadas nas Figuras 6 e 7.

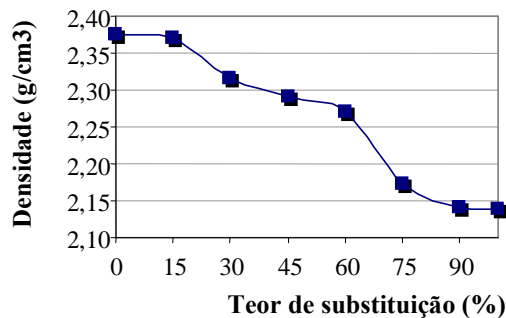


Figura 6: Densidade x teor de substituição

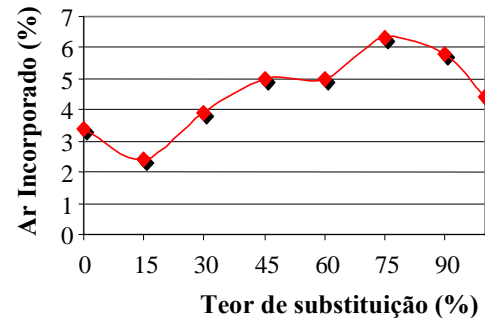


Figura 7: Ar incorporado x teor de substituição

A taxa de ar incorporado aumentou de forma proporcional à substituição dos agregados naturais pelo reciclado. Os valores de densidade obtidos encontram-se em torno de 2,2 kg/dm³ a 2,3 kg/dm³. No concreto convencional a densidade mantém-se na faixa de 2,3 kg/dm³ a 2,5 kg/dm³, quando empregados agregados naturais (PETRUCCI, 1995). Assim, até os 30% de adição do agregado reciclado, o concreto encontrou-se dentro dos padrões estabelecidos para um concreto comum. Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de resistência à compressão.

Tabela 4: Resistência à compressão				
ARC (%)	Resistência Média (MPa)			
	7	14	28	56
0	39,8	40,9	47,0	50,0
15	39,5	46,5	49,1	48,2
30	39,2	40,7	44,2	47,8
45	40,9	40,0	43,4	45,3
60	37,9	42,8	50,3	50,4
75	27,6	31,1	33,4	39,6
90	22,7	29,1	32,5	31,9
100	24,5	29,4	29,0	29,2

Foi realizada uma análise estatística pelo programa ANOVA - Excel, com significância de 0,05. Na análise de variância, os dados analisados possuem um efeito significativo na ocorrência do $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$. Pôde-se, dessa maneira, observar que até os 60% de substituição, os dados de resistência não mostraram variação significativa. Teores acima deste valor resultaram em $F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$, confirmando-se redução nos valores de resistência.

A NBR-9781 fixa em 35 MPa a resistência mínima para o concreto das peças de pavimento intertravado aos 28 dias. Concluiu-se que o emprego do ARC apresentou desempenho satisfatório para os traços com substituições até 60% dos agregados naturais pelos reciclados. Novos estudos e dosagens se fazem necessários para se otimizar as relações cimento/agregados e cimento/aditivos.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-9781: Peças de concreto para pavimentação, especificação. Rio de Janeiro, 1987, 4p.

HELENE, P. R. L; TERZIAN P. Manual de dosagem e controle do Concreto. São Paulo, Pini, 1992. 225p.

JOHN, W. M. Reciclagem de resíduos na construção: Contribuição à metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. Tese de Livre Docência, EPUSP, 2000. 102p.

SANTOS, J.R. Betão com agregados grossos reciclados de betão. São Paulo, SP. Revista Concreto, ISSN 1806-9673, IBRACON -Instituto Brasileiro do Concreto, 2005, p.10-14.

MADRI, G. Pavimento intertravado mais ou menos permeável. São Paulo. Revista Prisma, Editora Mandarim. 14.^a Ed. 2005

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de Cimento Portland. 12.ed. São Paulo: Globo, 1998. 307p.

Bolsa: CNPq/PIBIC