

CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO VISANDO A SUA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Adailton de O. Gomes; (2) Cleber M. R. Dias; (3) Alexandre T. Machado; (4) Roberto J. C. Cardoso; (5) Marcos J. A. Santana

(1) Departamento de Ciências e Tecnologia dos Materiais (DCTM).
Escola Politécnica da UFBA.adailton@ufba.br

(2) Departamento de Ciências e Tecnologia dos Materiais (DCTM).
Escola Politécnica da UFBA.clebermrd@bol.com

(3) Departamento de Ciências e Tecnologia dos Materiais (DCTM).
Escola Politécnica da UFBA.machado@ufba.br

(4) Departamento de Ciências e Tecnologia dos Materiais (DCTM).
Escola Politécnica da UFBA.rcj@ufba.br

(5) Departamento de Construção e Estruturas (DCE). Escola Politécnica
da UFBA.marjoras@ucsal.br

RESUMO

O grande volume de resíduos provenientes de construções, demolições e reformas causa sérios danos ao ambiente urbano. A disposição inadequada de entulho implica, na maioria das vezes, no aumento da ocorrência de doenças devido à proliferação de insetos e animais nocivos, além de provocar a obstrução de córregos, mananciais e vias públicas. O aproveitamento destes resíduos como materiais e na fabricação de componentes de construção contribui para minimizar os impactos causados ao meio ambiente uma vez que reduz o consumo de recursos naturais e contribui para a solução dos problemas ambientais urbanos relacionados com a geração e disposição de resíduos da construção. No presente trabalho, apresenta-se uma abordagem sobre a reciclagem de resíduos da construção como matéria-prima na produção de concretos, apresentando os resultados de caracterização do entulho, substituindo o agregado graúdo no concreto. Além disso, verifica-se sua influência nas propriedades dos concretos de baixa e média resistência nos estados fresco e endurecido. Os resultados preliminares mostram que os concretos de média resistência contendo entulho¹ apresentaram aumento de 50 % no abatimento e uma redução na resistência a compressão em torno de 30 % e tração na flexão, cerca de 18 %, em relação ao concreto de referência². Para os concretos de baixa resistência, o abatimento aumentou cerca de 40 % e ocorreu uma redução de 10 % na compressão e 30 % na resistência a tração. Dessa forma, os resultados mostram que se pode compensar a perda de resistência dos concretos em que se utilizou agregado reciclado, tanto à tração quanto na compressão, equilibrando o teor de água total — a fim de compensar a absorção do agregado reciclado — e reduzindo a relação água/cimento da mistura.

1 INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial, com a intensificação das atividades realizadas pelo homem, tem ocorrido com mais intensidade a degradação do meio ambiente. O estado atual do nosso planeta é preocupante e está nos levando a buscar a sustentabilidade através do controle da extração dos recursos naturais, da redução da poluição, reciclagem, etc.

Dentre as atividades desenvolvidas pelo homem, a construção civil é a que mais contribui para a degradação do ambiente pelo fato de consumir grande parte dos recursos que são extraídos da

¹ Com 100 % do volume de agregado graúdo convencional, substituído por entulho.

² O concreto de referência foi dosado com agregado graúdo convencional

natureza, o que pode representar de 14 % a 50 % do total extraído (John, 2000). Conforme estimativa de John (2000), no Brasil o consumo anual de agregados, somente para a produção de concretos e argamassas, é de 210 Mt.

Além desse grande consumo de recursos naturais, a construção civil gera um grande volume de resíduos. A exemplo disso, somente em Salvador, coleta-se diariamente em torno de 2.746 toneladas de entulho (LIMPURB, 2001). O entulho, quando disposto de forma inadequada promove diversos problemas como: obstrução de córregos e vias, inundações, além de altos gastos para a sua remoção e a utilização dos resíduos da construção seria uma solução para estes problemas (Levy, 2001).

Sendo assim, esse trabalho busca apresentar os resultados da caracterização do entulho e as propriedades, nos estados fresco e endurecido, de concretos de baixa e média resistências confeccionados com este material.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia aqui apresentada tem o objetivo de verificar a influência do entulho — como agregado grão — nas propriedades de concretos de média e baixa resistência. Para isso foram elaborados dois traços de referência — B1 e M1, confeccionados com agregados convencionais. O traço B1 foi projetado para atender a baixa resistência ($f_{ck} < 20\text{MPa}$) e o M1 para atender a média resistência à compressão ($20\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 40\text{MPa}$)³. Os outros traços foram obtidos substituindo-se parte do volume de brita por entulho nas proporções – 25, 50, 75 e 100%.

Foram confeccionados 18 corpos-de-prova cilíndricos – diâmetro de 10cm e altura de 20cm – e 2 corpos-de-prova prismáticos de cada um dos 10 traços de concreto, contendo diferentes proporções de entulho (tabela 1).

Os concretos produzidos foram avaliados, nos ensaios de compressão axial (NBR 5739/94) e diametral (NBR 7222/83), nas idades de 7, 14 e 28 dias, enquanto que o ensaio de flexão (NBR 12142/91) foi realizado somente aos 28 dias.

Tabela 1. Traços dos concretos confeccionados com os respectivos teores de entulho.

<i>Porcentagem de substituição do volume da brita por entulho</i>	<i>Código</i>	<i>Traço unitário em massa</i>	<i>Código</i>	<i>Traço unitário em massa</i>
0%	B1*	1,00 : 2,92 : 4,97 : 0,00 : 0,80	M1*	1,00 : 1,69 : 3,14 : 0,00 : 0,53
25%	B2	1,00 : 2,92 : 3,50 : 0,85 : 0,80	M2	1,00 : 1,69 : 2,36 : 0,57 : 0,53
50%	B3	1,00 : 2,92 : 2,34 : 1,70 : 0,80	M3	1,00 : 1,69 : 1,57 : 1,15 : 0,53
75%	B4	1,00 : 2,92 : 1,17 : 2,55 : 0,80	M4	1,00 : 1,69 : 0,79 : 1,72 : 0,53
100%	B5	1,00 : 2,92 : 0,00 : 3,41 : 0,80	M5	1,00 : 1,69 : 0,00 : 2,29 : 0,53

Obs: * B = baixa e M = média resistência à compressão.

** Cimento : areia : brita : entulho : água.

2.1.1 Preparação dos corpos-de-prova e propriedades dos concretos

A seqüência de colocação dos materiais na betoneira para a produção do concreto contendo entulho, foi feita da seguinte forma: primeiro foram colocados o entulho e a água de absorção (7,0% da massa de entulho) - a betoneira era ligada brevemente 4 vezes, durante o intervalo de 10min, para misturar o material, logo após foi colocado parte do cimento, em seguida o material foi

³ Definição de concreto de baixa e média resistência sugerida por Mehta e Monteiro (1994).

homogeneizado, e então colocadas, a areia e a brita (em alguns dos traços). Ao final deste procedimento foram adicionados o restante do cimento e a água⁴.

2.2 Materiais utilizados

Para a confecção dos concretos foi utilizado o entulho obtido no aterro de Canabrava, localizado na Região Metropolitana de Salvador. Este entulho foi britado num britador de mandíbulas e separado da fração miúda — que passa na peneira com abertura de malha igual a 4,8 mm — por peneiramento mecânico. Antes de ser utilizado para produzir os concretos, o entulho foi peneirado manualmente de forma a selecionar o material que passa na peneira com abertura de 25,0 e que fica retido na de 4,8 mm.

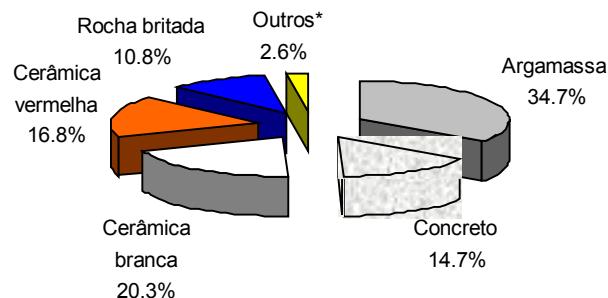
O cimento utilizado nas misturas experimentais foi do tipo CP II F-32. Como agregado utilizou-se areia quartizosa ($D_{máx}=1,2\text{mm}$) e brita ($D_{máx} = 19,0\text{mm}$) e.

A caracterização dos agregados (entulho, brita e areia) foi feita utilizando os métodos listados na Tabela 2, destinados a agregados convencionais para concreto. Os métodos para determinação da massa específica e absorção (NBR 9937/87) e absorção em função do tempo foram adaptados para a caracterização do entulho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Caracterização dos agregados

A determinação da composição gravimétrica do entulho foi feita separando-se manualmente os diversos materiais existentes e pesando cada fração correspondente a cada material. O entulho utilizado é composto em sua maior parte por argamassas e cerâmicas, conforme mostrado na Figura 1. Grande parte das cerâmicas é constituída de fragmentos de superfície lisa, o que poderá diminuir a aderência entre a argamassa e os agregados cerâmicos.



Obs: * Vidro, metais, madeira etc.

Figura 1. Composição gravimétrica do entulho

Na Tabela 2 são mostrados os métodos e os resultados obtidos na caracterização dos agregados utilizados nas misturas experimentais.

⁴ De acordo com Vazquez e Barra (1997), esta ordem de colocação dos materiais na betoneira proporciona uma melhoria na interface pasta-agregado.

Tabela 2. Caracterização dos agregados.

Método Utilizado	Características	Material		
		Entulho	Brita	Areia
NBR 7217/87	Dmáx	19.0	19.0	1.2
NBR 7217/87	Módulo de finura	6.44	6.41	1.35
NBR 7809/83	Índice de forma	2.7	3.2	-----
NBR 7251/82	Massa unitária (kg/dm ³)	1.12	1.46	1.50
NBR 9937/87	Massa específica seca (kg/dm ³)*	2.02	2.77	2,63**
NBR 9937/88	Absorção*	9.60%	0,5%	-----
NBR 7219/87	Teor de materiais pulverulentos	1,4%	-----	2.80%

Obs: * Para a realização deses ensaios foi necessário adaptar os métodos.

** Para esta determinação foi utilizado a NBR 9776/87

Pode-se observar (Tabela 2) que o entulho apresenta uma taxa absorção de 9,6 % que deve ser considerada na produção do concreto uma vez que os agregados convencionais — a brita da região de Salvador costuma apresentar absorção inferior a 1,0% que não interfere na trabalhabilidade do concreto por absorverem muito pouco a água de amassamento.

Analizando os valores dos índices de forma, observa-se que o entulho possui grãos mais arredondados que a brita, o que pode influenciar na consistência dos concretos quando se substitui a brita e se mantém fixa a quantidade de água num traço.

Na Figura 2 é apresentada a distribuição granulométrica dos agregados.

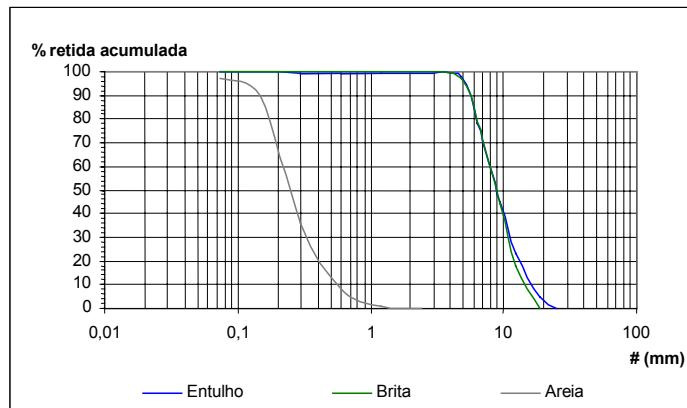


Figura 2. Granulometria dos agregados utilizados.

A brita e o entulho estudados foram peneirados manualmente, selecionando a fração passante na peneira 25,0 mm e retida na 4,8 mm. Na figura 3 observa-se que eles apresentam distribuição granulométrica semelhante — isto pode ser confirmado com os valores obtidos para a dimensão máxima característica e módulo de finura apresentados na Tabela 2.

A Figura 2 mostra o gráfico de absorção do entulho em função do tempo.

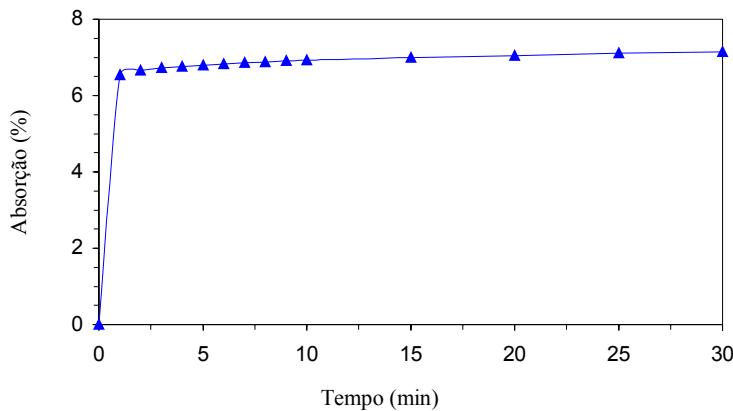


Figura 2. Absorção de água no entulho em função do tempo

Neste gráfico (Figura 2) observa-se um trecho com uma inclinação acentuada — entre 0 e 1 minuto — correspondendo a uma taxa de absorção elevada, cerca de 6,53 %, que corresponde a molhagem seguida da absorção superficial do agregado. No segundo trecho, de 1 a 30 minutos, verifica-se ainda um ganho de massa de apenas 0,61 %.

Com base nos resultados da Figura 2, se decidiu adicionar, durante a produção do concreto, 7,0 % de água em relação a massa de entulho e esperar 10 minutos para colocação dos outros materiais na betoneira. Este procedimento foi adotado para que o agregado alcançasse um ponto de saturação, onde a taxa de absorção fosse pequena, de forma que este não absorvesse a água de amassamento e hidratação do cimento.

A massa específica do concreto no estado fresco é mostrada na Figura 3. Pode-se observar que há uma redução na massa específica dos concretos com o aumento do teor de entulho. Isto se deve ao fato de que foi substituído, no traço de referência, um material mais denso - a brita - por outro menos denso – o entulho - implicando na redução da massa específica do compósito.

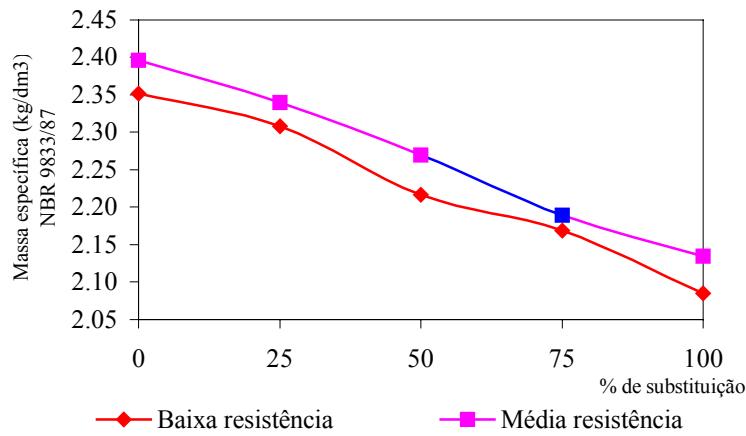


Figura 3. Influencia do teor de entulho na massa específica do concreto no estado fresco

A Figura 4 mostra as medidas do abatimento do concreto, determinadas no ensaio com o tronco de cone. Observa-se que a substituição de 25% do volume de brita por entulho nos concretos de referência de baixa e média resistência, não altera significativamente o valor do abatimento. Contudo, a partir da substituição de 50% do volume de brita ocorre um aumento significativo nestes valores. Este fenômeno pode ser justificado a medida que os grãos de entulho são mais

arredondados que os da brita (índice de forma - Tabela 2) estes podem ter contribuído para o aumento no abatimento. Adicionalmente, foi verificado que a superfície lisa da cerâmica contribuiu na medida que esta dificulta a aderência da argamassa, o que normalmente não acontece quando o agregado tem superfície rugosa.

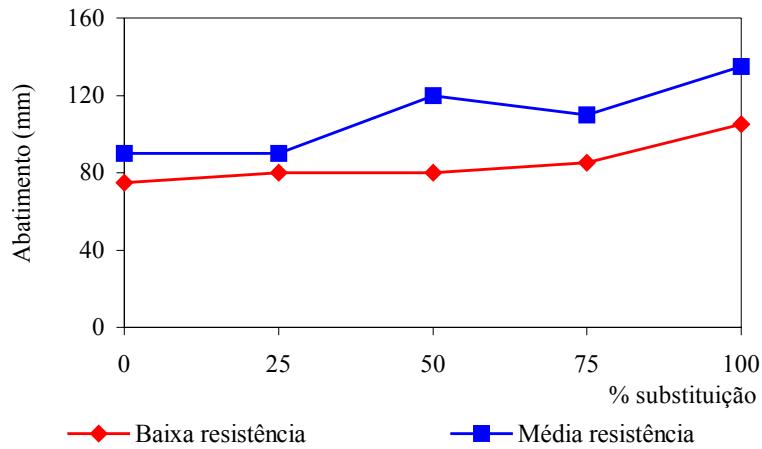


Figura 4. Gráfico do abatimento em função da porcentagem de entulho

A Figura 5 apresenta os resultados dos ensaios de compressão axial dos concretos de baixa e média resistência.

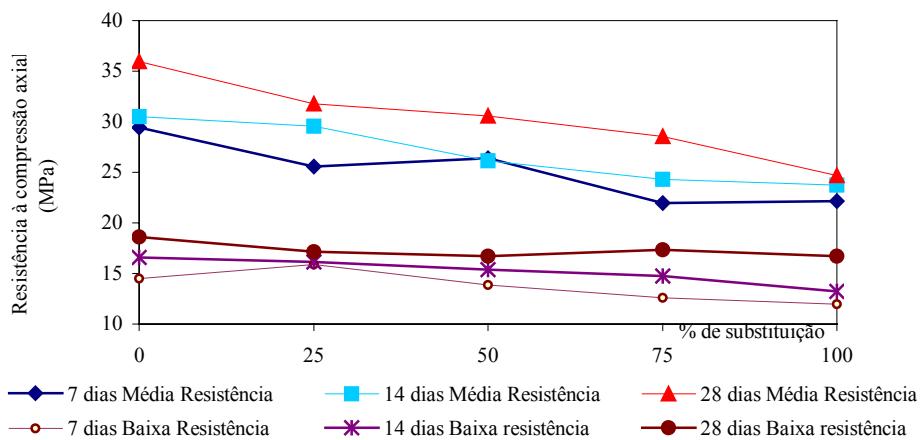


Figura 5. Resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de concretos de baixa e média resistência.

Observa-se, na

Figura 5, uma queda na resistência à compressão axial quando se acrescenta entulho no traço. A resistência à compressão caiu em torno de 30 % no traço de média resistência e 10 % no traço de baixa resistência, quando se substituiu totalmente a brita por entulho. Resultados semelhantes foram analisados anteriormente por ZORDAN (1997) que atribuiu a queda de resistência ao fato do entulho ser menos resistente que a brita e à cerâmica lisa, que proporciona má aderência entre argamassa e agregados cerâmicos e planos preferenciais de ruptura nesta interface.

Observando o comportamento à compressão axial dos concretos B3, B4 e B5 na Figura 5, verifica-se que estes apresentaram resistências bem próximas.

A Figura 6 apresenta os resultados dos ensaios de flexão feitos nos concretos de baixa e média resistência.

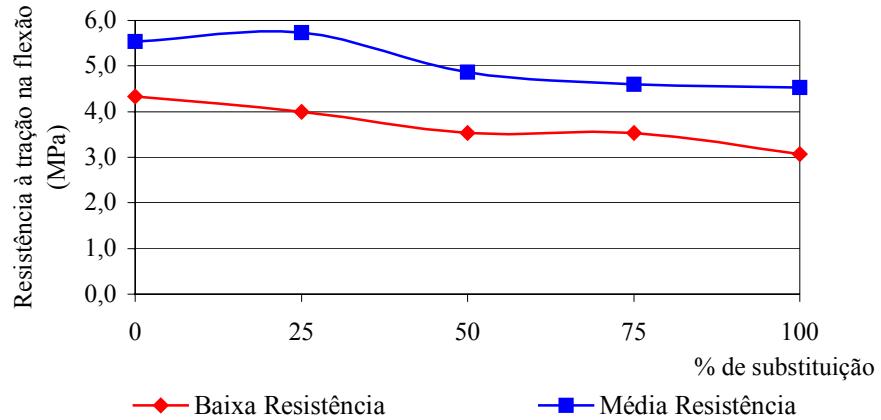


Figura 6. Resistência média à tração na flexão - concretos de baixa e média resistências.

Na Figura 6, observa-se uma queda na resistência à tração na flexão, quando se aumenta a quantidade de entulho no traço. Verifica-se, nos concretos de baixa resistência, uma queda em torno de 30% e no de média resistência, em torno de 18%. Este fenômeno também pode ser explicado pelo aumento da quantidade de grãos de entulho que são menos resistentes que a brita, e além disso possuem interfaces lisas que contribuem para a formação de planos preferenciais de ruptura.

Analizando o comportamento do concreto de baixa resistência na compressão (Figura 5) e os resultados de tração na flexão (Figura 6), este último tanto nos resultados de baixa e média resistência, observa-se uma proximidade nos valores da resistência dos concretos com substituição de 50, 75, e 100 % de entulho. Estes resultados indicam uma maior vantagem em se substituir totalmente e não parcialmente, a brita por entulho no concreto.

Os resultados dos ensaios de compressão diametral são mostrados na figura 8.

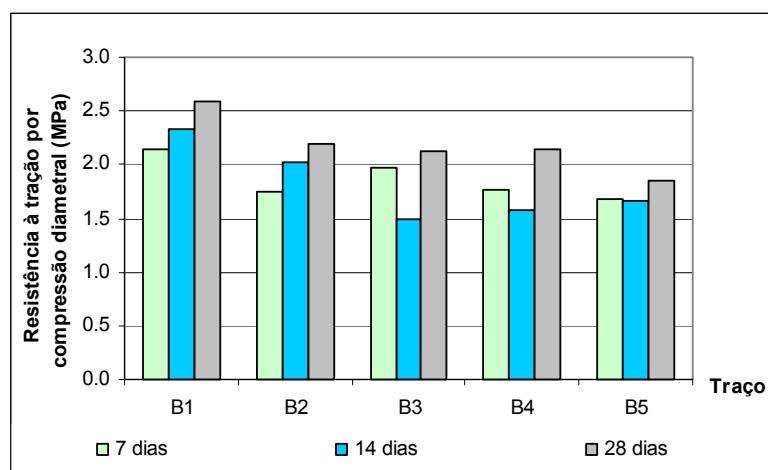


Figura 7. Resultados obtidos no ensaio de compressão diametral nos concretos de baixa resistência

Na Figura 7 pode-se observar que os concretos de baixa resistência com 0 % e com 100 % de entulho em substituição a brita.

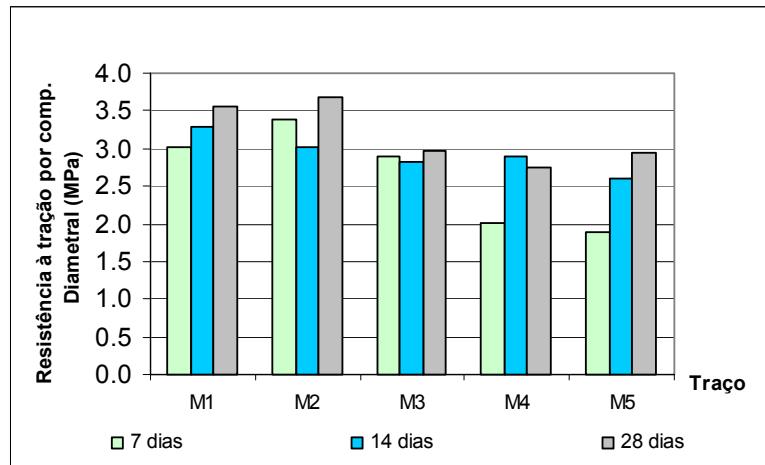


Figura 8. Resultados obtidos no ensaio de compressão diametral nos concretos de média resistência.

Foi observado durante o ensaio, grande variação nos valores de resistência dos corpos-de-prova, possivelmente devido a heterogeneidade do entulho e suas interfaces lisas.

Comparando os resultados do ensaio de tração na flexão e por compressão diametral, observa-se que a resistência à tração na flexão dos concretos com entulho supera os de compressão diametral de 53 a 83 % de acordo com o intervalo de 40 a 85 %, conforme sugerido por MEHTA E MONTEIRO (1994).

4 CONCLUSÕES

1. É importante o estudo da absorção do entulho para a dosagem do concreto, pois este, quando é colocado seco na mistura, absorve parte da água de amassamento, afetando a trabalhabilidade do concreto.
2. A substituição total da brita pelo entulho no concreto influenciou as propriedades do concreto da seguinte forma:
 - a. Reduzindo a resistência à compressão axial na ordem de 30% no concreto de média resistência e 10% no de baixa resistência;
 - b. Reduzindo a resistência à tração na flexão em torno de 18% para o concreto de média resistência e 30% para o concreto de baixa resistência.
3. A análise comparativa entre o percentual de substituição no concreto e comportamento na compressão axial e na flexão, permite concluir que a substituição total apresenta-se como mais favorável que a parcial uma vez que promove maior economia de matéria prima consumida na confecção do concreto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados : Determinação da composição granulométrica** – NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados : Determinação da absorção e da massa específica de agregado gráudo** – NBR 9937. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados : Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro** – NBR 7809. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados em estado solto : Determinação da massa unitária** – NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados : Determinação do teor de materiais pulverulentos** – NBR 7219. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados : Determinação da abrasão “Los Angeles”** – NBR 6465. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto : Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos** – NBR 12142. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto : Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos** – NBR 5739. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassas e Concretos : Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos** – NBR 7222. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto : Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone** – NBR 7223. Rio de Janeiro, 1982.

BARRA, M. e VAZQUEZ, E. **Particularidades do processo de carbonatação em concretos de agregado reciclado.** IV Congresso Iberoamericano de patologia das construções. Porto Alegre, RS, Brasil, 1997.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento[Tese apresentada à USP para a obtenção do título de Livre Docente]. São Paulo, 2000.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais.** 1^a Ed. PINI, São Paulo, 1994.

LEVY, Salomon M. **Problemas gerados pelo entulho.** In: [URL: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho/impactos%20gerados.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho/impactos%20gerados.htm)

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado, na confecção de concreto** [Dissertação apresentada a UNICAMP para obtenção do título de Mestre em Engenharia]. São Paulo, Campinas, 1997.

AGRADECIMENTOS

À Itaguassú Industrial, Betombrás, ao grupo GEMAC e aos técnicos Emanoel R. do Nascimento, Paulo César Sant'Ana, Manuel Clementino, Luiz Orlando, Ivo Oliveira e Jessé Sá Barreto.

