

# Correlação entre Areia Natural versus Areia Artificial para Confeção de Concreto

*Maria Teresa Gomes Barbosa\**  
*Karla Teixeira Monteiro\*\**  
*Arthur Ferreira de Paiva\*\*\**  
*Rafael Vitor Moraes Ladeira\*\*\*\**  
*White José dos Santos\*\*\*\*\**

## Resumo

A areia natural tem tido um esgotamento progressivo de suas jazidas e, conseqüentemente, o aumento de seu custo, devido ao seu grande uso em obras de engenharia. Este trabalho caracterizou e comparou dois tipos de areia para produção de concreto, a saber: proveniente das sobras de mármore triturado e areias naturais (proveniente do rio do Peixe). Os ensaios realizados caracterizaram os concretos no que se refere a: resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, resistência à compressão diametral, esclerometria e velocidade de propagação do pulso ultra-sônico. Baseados nos resultados efetuaram-se correlações e, finalmente, concluiu-se que os concretos confeccionados com resíduo de mármore apresentaram um desempenho superior.

**Palavras-chave:** resíduo de mármore, desenvolvimento sustentável, resistência do concreto.

## 1 Introdução

Dentre os objetivos da “Sustentabilidade na Construção” citam-se: reduzir perdas energéticas, minerais dentre outras matérias-primas; proteger a biodiversidade dos materiais dos sistemas naturais e a integração do ambiente construído com o ambiente natural.

No que se refere aos recursos naturais, seu emprego procedeu-se durante décadas de maneira desenfreada e impensada ocasionando um grande alerta ao mundo no que se refere à vulnerabilidade das fontes energéticas, minerais, dentre outras. Dentro deste contexto, constata-se em todas as ciências, pesquisadores empenhados em obter soluções que atendam o equilíbrio ambiental e garantam um perfeito desenvolvimento econômico e cultural.

Os pesquisadores atuantes na Construção Civil dedicaram-se às descobertas de meios e materiais

alternativos de baixo custo, duráveis, dentre outros requisitos. Sendo assim, o emprego de resíduos sólidos, anteriormente descartados por se tratar de produtos com “pouca riqueza” passam a ser reutilizados como matéria-prima para a confecção de outros materiais de construção além, de reduzir o impacto ambiental.

Considera-se além dos impactos ambientais, os custos para as futuras, fortalecendo o debate a cerca da “sustentabilidade”, principalmente, no que se refere a qualidade de vida decorrente das ações predatórias do homem. (ISOLDI *et al.*, 2010).

Segundo JOHN (2010), no Brasil o consumo de agregados naturais somente para a produção de concreto e argamassas é cerca de 220 milhões de toneladas. Em contrapartida, a construção civil, maior geradora de resíduos em toda a sociedade, produz um volume de entulho de construção e demolição até duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano,

\*\* Departamento de Construção Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil – e-mail: teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br.

\*\* Departamento de Construção Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil – e-mail: karla.monteiro@engenharia.ufjf.br.

\*\*\* Departamento de Construção Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil – e-mail: arthur.paiva@engenharia.ufjf.br.

\*\*\*\* Departamento de Construção Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil – e-mail: rafael.paiva@engenharia.ufjf.br.

\*\*\*\*\* Departamento de Construção Civil – Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil – e-mail: white.santos@engenharia.ufjf.br.

depositados clandestinamente, e ocasionando grande volume de recursos públicos para a sua retirada.

A reciclagem de resíduos surge como uma possibilidade de redução da poluição, ou seja, resíduo reciclado é produtivo, por exemplo, a utilização de escória de alto forno e cinzas volantes pela indústria cimenteira brasileira reduz consideravelmente o volume de CO<sub>2</sub> liberado na atmosfera; a reciclagem de sucata de aço reduz cerca de 90% a geração de resíduos minerais.

“Reciclagem” segundo a Resolução 307 de 5 de julho de 2002 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. No seu artigo 3º classifica os resíduos da construção civil, da seguinte forma:

**I – Classe A** – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: 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;

**II – Classe B** – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, dentre outros;

**III – Classe C** – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

**IV – Classe D** – são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

No que se refere aos resíduos provenientes de entulhos de obras ZORDAN (1997) cita os seguintes empregos:

- pavimentação – destaca-se como sendo a forma mais simples de reciclagem do entulho, empregado na forma de brita corrida ou ainda em mistura de resíduos com solo;
- agregado para o concreto – o entulho processado pelas usinas de reciclagem pode ser

utilizado como agregado para o concreto não estrutural, a partir da substituição dos agregados convencionais (brita e areia);

- agregado para a confecção de argamassa – processados por equipamentos denominados “argamasseiras” que moem o entulho na própria obra na granulometria semelhante à da areia, pode ser utilizado como agregado para a argamassa de assentamento e revestimento;
- outros – material de enchimento (preenchimento de vazios em construções, de valas de instalações e reforço de aterros).

ZORDAN (1997) comprovou a viabilidade técnica do emprego de entulho da construção civil como agregado para a confecção de concreto não estrutural destinados à infra-estrutura urbana. Conforme ilustrado na Figura 1, os materiais constituintes encontrados no entulho de obra são: argamassas (37,4%), concreto (21,1%) e cerâmicos não polidos (20,8%) e possuem boa distribuição granulométrica do rejeito, sendo o material composto por aproximadamente 50% de material graúdo e 50% de material miúdo.

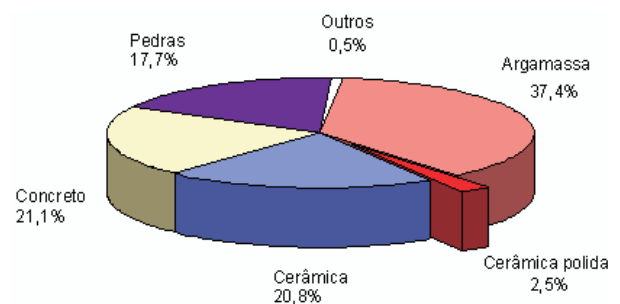


Figura 1 – Gráfico da constituição de materiais do entulho. (ZORDAN, 1997).

Em estudos recentes, BARBOSA *et al.*, (2008) constataram a viabilidade técnica do emprego do Rejeito de Mármore Triturado (RMT) como agregado miúdo para a confecção de concretos, resultando num produto final com qualidades superiores no que se refere a: trabalhabilidade, resistência mecânica, absorção de água e durabilidade.

Dentre deste contexto, o objetivo deste trabalho é efetuar uma correlação entre os concretos confeccionados com agregado miúdo natural (areia de rio) e artificial (rejeito de mármore), em diferentes idades, a saber: 7, 28 e 90 dias, no que se refere à resistência à compressão, à tração por compressão diametral, ensaio de esclerometria e velocidade de propagação de pulso ultra-sônico.

## 2 Materiais e Métodos Empregados

### 2.1 Materiais Empregados

#### 2.1.1 Cimento:

Empregou-se o cimento Portland: CII E/32 da marca Holcim.

#### 2.1.2 Agregados:

No desenvolvimento desta pesquisa empregaram-se matérias primas convencionais (areia de rio) e rejeitos de mármore triturados cujas características são apresentadas na Tabela 1.

#### 2.1.3 Água:

Água potável da rede de abastecimento da cidade de Juiz de Fora.

### 2.2 Ensaios Realizados

#### 2.2.1 Ensaio de Resistência à Compressão Axial (RCA)

A NBR 5739 (2007) prescreve o método de ensaio para determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos (dimensão 10 cm x 20 cm ou 15 cm x 30 cm) de cimento Portland. Até a idade do rompimento, os corpos-de-prova são mantidos em processo de cura úmida, em uma câmara apropriada, após este período e estabelecida a idade do rompimento, os corpos-de-prova são rematados com enxofre, perfeitamente perpendicular ao seu eixo longitudinal sendo colocados na máquina de ensaio.

#### 2.2.2 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RCD)

Conforme a NBR 7222 (1994) corpos-de-prova cilíndricos (dimensão 10 cm x 20 cm ou 15 cm x 30 cm) de cimento Portland, submetidos ao ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral, são mantidos em processo de cura úmida, em câmara apropriada, após este período e na idade determinada para o ensaio, são colocados na máquina de ensaio e entre eles duas tiras de chapa duras de fibra de madeira, de comprimento igual ao da geratriz dos mesmos.

#### 2.3.4 Ensaio de Esclerometria

A normalização brasileira, NBR 7584 (1995) prescreve a execução do ensaio, obtendo-se o índice esclerométrico, efetua-se as correlações necessárias a cada aparelho para avaliação da resistência à compressão.

#### 2.3.4 Velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas

Datam de meados de 1940 as primeiras publicações sobre medições de velocidade de pulsos mecanicamente gerados, sendo constatada a sua dependência das propriedades elásticas do material e não da geometria da peça. Nos anos 1960, houve o desenvolvimento de um equipamento portátil, operado com bateria e, que através de um visor digital apresentava o tempo gasto para a velocidade de onda percorrer o corpo de prova. A transmissão das ondas no ensaio pode ser realizada de três formas: direta, indireta e semi-direta.

Apesar de apresentar vantagens como o relativo baixo custo do equipamento utilizado, facilidade de operação, além ensaio ser não destrutivo, o método

Tabela 1 – Características dos agregados.

Propriedades	Areia de rio	Rejeito de mármore	Agregado graúdo
Diâmetro característico máximo (mm)	4,80	4,80	25,0
Gradação granulométrica (segundo normalização brasileira)	Zona Utilizável	Granulometria Ótima	Gradação 1
Módulo de finura	2,75	2,75	6,53
Massa específica real (kg/dm <sup>3</sup> )	2,62	2,91	2,70
Massa específica aparente (kg/dm <sup>3</sup> )	1,46	1,74	1,36
Teor de material pulverulento (%)	0,60	5,0	0,20
Impureza Orgânica (p.p.m.)	<300	<300	<300
Torrões de argila (%)	Isento	Isento	Isento
Absorção de água (%)	3,16	1,27	***

apresenta algumas desvantagens, como: o acoplamento dos transdutores ao corpo-de-prova; dificuldade de interpretação de resultados; a confusão da relação entre velocidade de onda e resistência que pode ser gerada devido à presença de fissuras, vazios e descontinuidades do concreto; devido à influência de diversos fatores como as propriedades e proporções dos materiais que compõem o concreto, não há uma correlação única para a relação entre a velocidade da onda e a resistência; a não existência de uma relação teórica entre resistência e velocidade de propagação, mesmo em materiais lineares.

Com o auxílio de um ultra-som portátil PUNDIT (sigla oriunda do inglês Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), determinou-se a velocidade de propagação de onda ultra-sônica segundo a NBR 8802 (1994).

### 2.2.3 Programa Experimental

O programa experimental foi elaborado com o objetivo de avaliar as propriedades tecnológicas dos concretos obtidos com a substituição do agregado miúdo natural por rejeito de mármore em concretos de Cimento Portland. Dentro deste contexto, empregou-se o traço 1: 3: 4: 0,74 (cimento: areia: brita: água).

O método de dosagem adota foi o desenvolvido pelo IPT, descrito por HELENE e TERZIAN (1993), onde realizou-se o proporcionamento do concreto. A princípio fixou-se um teor de argamassa seca de 50%, um slump de cone de aproximadamente  $70 \pm 10$  mm e a mesma relação água/cimento.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados e as análises dos mesmos, efetuados por meio de procedimentos estatísticos, são apresentados no item a seguir.

## 3 Resultados e Análises

Conforme mencionado o programa experimental foi elaborado com o objetivo de avaliar as propriedades tecnológicas dos concretos obtidos com a substituição do agregado miúdo natural por agregado proveniente do resíduo do beneficiamento do mármore em concretos de Cimento Portland.

Salienta-se que a análise estatística dos resultados obtidos referem-se às propriedades do concreto no estado endurecido. As análises efetuadas são apresentadas a seguir, nas Tabelas 2 a 5 e nas figuras 1 a 7, sendo o valor apresentado correspondente à média de oito corpos-de-prova, em cada idade de ensaio (7, 28 e 90 dias).

Numa análise estatística preliminar determinou-se o coeficiente de variação (CV) para avaliar a variação dos resultados de um experimento. Esse procedimento é adotado quando se deseja comparar a variabilidade de várias amostras com médias diferentes ou quando as variáveis aleatórias têm dimensões diferentes. O valor de CV menor ou igual a 25% é considerado aceitável. Logo, os resultados obtidos são considerados aceitáveis (vide Tabelas 2 a 5)

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 2 a 5 verifica-se que os traços contendo agregados miúdos britados atingem maiores resistências. Tal fato é explicado pela baixa porosidade (absorção de água baixa) do rejeito, pois de acordo com BUEST (2006), a porosidade do agregado pode afetar a resistência à compressão do concreto.

Adotou-se a seguinte nomenclatura nas Tabelas 2 a 5:

- $f_{c7}$  – resistência à compressão aos 7 dias de idade.
- $f_{c28}$  – resistência à compressão aos 28 dias de idade.
- $f_{c90}$  – resistência à compressão aos 90 dias de idade.
- $f_{t7}$  – resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias de idade.
- $f_{t28}$  – resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de idade.
- $f_{t90}$  – resistência à tração por compressão diametral aos 90 dias de idade.
- US<sub>7</sub> – velocidade de Propagação de Pulso Ultra-sônico aos 7 dias de idade.
- US<sub>28</sub> – velocidade de Propagação de Pulso Ultra-sônico aos 28 dias de idade.
- US<sub>90</sub> – velocidade de Propagação de Pulso Ultra-sônico aos 90 dias de idade.
- IE<sub>7</sub> – índice Esclerométrico aos 7 dias de idade.
- IE<sub>28</sub> – índice Esclerométrico aos 28 dias de idade.
- IE<sub>90</sub> – índice Esclerométrico aos 90 dias de idade.

**Tabela 2** – Resultados do ensaio de resistência à compressão, em MPa, com respectivo coeficiente de variação em %.

TRAÇO	$f_{c7}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ Média (MPa)	CV (%)
<b>Areia Natural</b>	7,17	6,16	11,29	5,83	15,0	4,34
<b>Areia Mármore</b>	15,77	2,39	23,0	1,94	28,0	1,18

**Tabela 3** – Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, em MPa, com respectivo coeficiente de variação em %.

TRAÇO	$f_{c7}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ Média (MPa)	CV (%)
<b>Areia Natural</b>	0,81	10,11	1,32	6,84	1,60	18,7
<b>Areia Mármore</b>	1,68	15,03	2,38	9,99	2,39	19,3

**Tabela 4** – Resultados do ensaio de ultrassom (km/s), com respectivo coeficiente de variação em %.

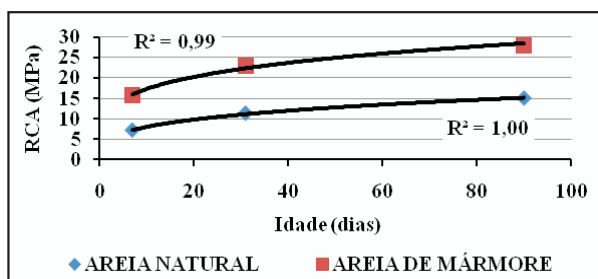
TRAÇO	$f_{c7}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ Média (MPa)	CV (%)
<b>Areia Natural</b>	4,29	6,35	4,36	8,03	4,39	7,65
<b>Areia Mármore</b>	5,12	5,86	5,23	3,45	5,25	4,38

**Tabela 5** – Resultados do ensaio de esclerometria (índice esclerométrico, %), com respectivo coeficiente de variação em %.

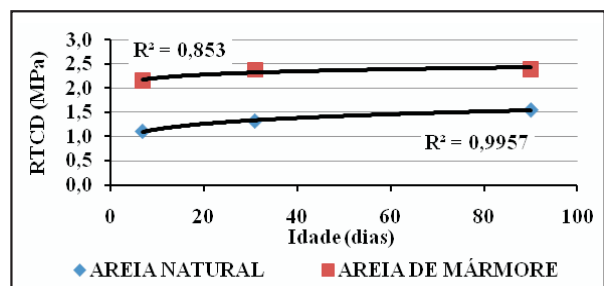
TRAÇO	$f_{c7}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c28}$ Média (MPa)	CV (%)	$f_{c90}$ Média (MPa)	CV (%)
<b>Areia Natural</b>	8,70	22,3	11,20	23,7	12,80	21,6
<b>Areia Mármore</b>	11,47	24,8	17,13	24,6	18,13	22,2

Analisando-se os resultados apresentados nas Tabelas 2 a 5 observa-se que os concretos com agregado artificial apresentam maior velocidade de propagação de ondas, devido à baixa porosidade do agregado oriundo do mármore. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) quanto maior a massa específica do agregado (vide Tabela 1), mais denso é o concreto e, portanto, maior a velocidade de propagação de ondas.

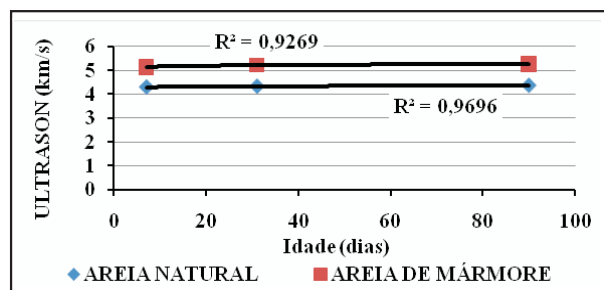
Dentro deste contexto, constata-se conforme já demonstrado por BARBOSA *et al* (2008) a superioridade do agregado miúdo proveniente do mármore triturado, quando comparado com o agregado natural (areia de rio).



**Figura 2** – Correlação entre resistência à compressão axial (MPa) x idade (dias).



**Figura 3** – Correlação entre resistência à tração por compressão diametral (MPa) x idade (dias)



**Figura 4** – Correlação entre velocidade de propagação de pulso ultrassônico (km/s) x idade (dias).

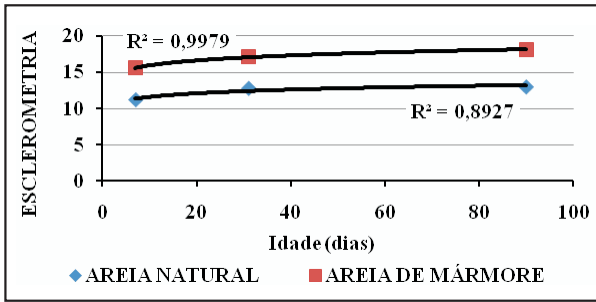


Figura 5 – Correlação entre índice esclerométrico (%) x idade (dias).

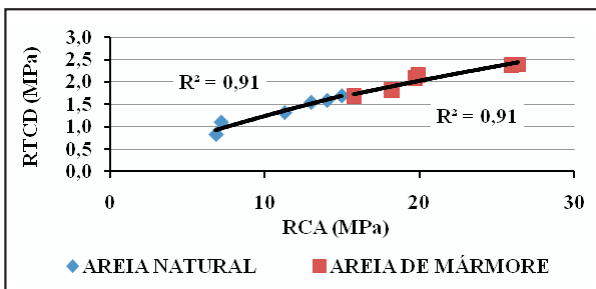


Figura 6 – Correlação entre resistência à tração por compressão diametral (MPa) x resistência à compressão axial (MPa)

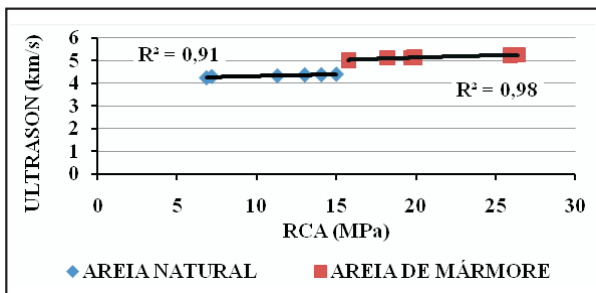


Figura 7 – Correlação entre velocidade de propagação de pulso ultrassônico (km/s) x resistência à compressão axial (MPa).

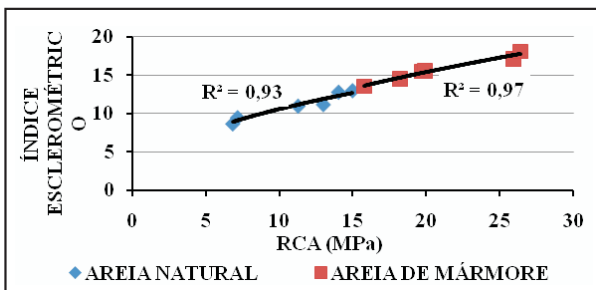


Figura 8 – Correlação entre índice esclerométrico (%) x resistência à compressão axial (MPa).

Analisando-se os resultados obtidos, podemos observar que há vantagens e desvantagens no uso do

agregado miúdo proveniente do rejeito do mármore triturado, a saber:

- resistência à compressão axial: as misturas confeccionadas com agregado de mármore apresentaram valores de resistência maiores.
- resistência à tração por compressão diametral: como é de se esperar, o comportamento é idêntico ao da compressão axial.
- velocidade de Propagação de Pulso Ultrassônico: os concretos fabricados com rejeito de mármore apresentam melhores resultados, visto que este agregado possui uma densidade maior e uma baixa porosidade.
- esclerometria: como está relacionado à dureza superficial do concreto seu comportamento assemelhasse ao da resistência à compressão.

E, finalmente, deve-se considerar que este estudo está limitado às características dos materiais, dosagens e técnicas de execução específicas, como por exemplo, o tipo de cimento, bem como a origem, a textura e a rugosidade dos agregados. Sua representatividade deve ser confirmada em novos estudos.

## 4 Conclusões

Dentro das várias formas de redução do impacto ambiental causado pela geração de resíduos, a que apresenta maiores vantagens é a reciclagem. A Construção Civil se apresenta como o setor com melhor potencial para a utilização dos resíduos devido aos inúmeros processos que envolvem diferentes tipos de materiais, além de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Além disso, a reciclagem de resíduos deve seguir uma metodologia adequada para que os produtos desenvolvidos apresentem um desempenho compatível com os padrões técnicos e não ofereçam riscos ambientais.

Conclui-se que é possível o reaproveitamento de rejeitos de mármore, amenizando sua estocagem e promovendo uma proposta na produção de concreto de baixo custo e boa qualidade. No que se refere a propriedade de resistência à compressão axial, o emprego deste agregado miúdo alternativo proporciona um melhor desempenho ao concreto, obtendo-se resultados cerca de 46% superior aos do concreto de referência. Dentro deste contexto, constata-se que o rejeito beneficiado pode substituir com grandes vantagens o agregado miúdo natural.

## 5 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_\_. NBR 7220 – Agregado – Determinação das impurezas orgânicas das areias, Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. NBR 7222 – Argamassa e concreto – **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos** – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1994.
- \_\_\_\_\_. NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_\_. NBR 8802 – Concreto – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica, Rio de Janeiro, 1994.
- BARBOSA, M. T. G., COURA, C. G., MENDES, L. O.. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. *Ambiente Construído*. v. 8, n. 4, pp. 51-60, Out-Dez, 2008.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. Ed. PINI, São Paulo, 1993.
- ISOLDI, R., SATTler, M. A., GUTIERREZ, E.. Tecnologias Inovadoras Visando a Sustentabilidade: Um Estudo Sobre Inovação, Técnica, Tecnologia e Sustentabilidade em Arquitetura e Construção. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/faurb/prograu/documentos/artigo3-sustentabilidade.pdf>, acesso em: 30/04/2010.
- JOHN, V., AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. Disponível em: [www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.html](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.html), acesso em: 30/04/2010.
- MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.
- ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 1997.