

## PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO SUBSTITUINDO 20% DA AREIA POR 10% DE LODO INCINERADO E 10% DE PÓ DE PEDRA

L. R. Blanc<sup>(1)</sup>; B. A. Sena<sup>(1)</sup>; A. L. Chaves<sup>(1)</sup>; F. F. Neumann<sup>(1)</sup>; L. C. da Silva<sup>(1)</sup>; C. A. Bomfeti<sup>(1)</sup>; S. C. Cabral<sup>(1)</sup>; J. L. Rodrigues<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Rua do Cruzeiro, nº 01 - Jardim São Paulo - CEP 39803-371  
jairolisboa@yahoo.com.br

### RESUMO

*A Construção Civil é um setor de ampla relevância econômica-social, sobretudo pela geração de bens e serviços e absorção de mão-de-obra. Entretanto, possui um elevado consumo de recursos naturais em seu ciclo de produção. O lodo e o pó de pedra são materiais dispostos inadequadamente no ambiente, porém suas características granulométricas são compatíveis com o desempenho natural da areia no concreto, tornando possíveis tais incorporações. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resistência mecânica à compressão do concreto com substituição de 20% da areia, por 10% de lodo incinerado de ETE e 10% de pó de pedra. O procedimento experimental consistiu na caracterização dos materiais, estudos de dosagem para seleção do traço adequado e comparação de seis corpos-de-prova com incorporação de resíduos, a um concreto-referência. Nos ensaios de resistência à compressão, as dosagens com adição de até 20% dos resíduos apresentaram resultados satisfatórios, sem prejuízos de sua resistência.*

**Palavras-chave:** Sustentabilidade, Materiais Alternativos, Construção Civil.

### 1 - INTRODUÇÃO

O uso de materiais alternativos na construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, pois minimiza impactos ambientais,

reduz custos e promove o reaproveitamento eficaz de materiais de rejeito (LESSA<sup>(1)</sup>, 2005). As propostas de incorporações de novos materiais na composição usual de elementos largamente utilizados na construção vêm, principalmente, no intuito de garantir um equilíbrio racional entre o homem e a natureza.

O concreto é um material muito utilizado na engenharia civil, no qual demanda elevado consumo de matérias-primas extraídas do meio ambiente. Os agregados miúdos e graúdos são os componentes utilizados em maior quantidade na fabricação do concreto. Em função dessa conjuntura, estudos que visem o emprego de materiais alternativos na composição dos agregados, tornam-se importantes para o balanceamento sustentável destes componentes. Contudo, deve-se manter um controle severo das matérias-primas utilizadas, pois estas afetam diretamente a resistência e qualidade do concreto (MENOSSI<sup>(2)</sup>, 2004).

As ETE's (Estações de Tratamento de Esgoto) são unidades do sistema de esgotamento sanitário que por meio de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o efluente tratado. Porém, neste processo de tratamento gera-se um semissólido de natureza predominantemente orgânica denominado lodo de esgoto. Este resíduo constitui um novo problema devido ao elevado volume diário gerado nas ETE's e a forma inadequada do seu descarte (ANDRADE<sup>(3)</sup>, 1999).

De acordo com a NBR 10.004<sup>(4)</sup>:2004, que dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos, o lodo oriundo do sistema de tratamento de água, gerado por equipamentos de controle de poluição, é considerado um resíduo sólido. Este resíduo geralmente não tem destino adequado no ambiente, podendo apresentar dentre suas propriedades químicas ou infectocontagiosas, um risco a saúde pública e ao meio ambiente.

O pó de pedra constitui-se em outro material de rejeito da exploração de pedreiras, possuindo diâmetro máximo inferior a 4,8 mm. De acordo com sua curva granulométrica, pode-se caracterizá-lo como areia muito fina a média (NBR 7211<sup>(5)</sup>:1983). Este resíduo geralmente não possui valor comercial e não tem destinação definida, permanecendo estocado nos pátios das pedreiras (MENOSSI<sup>(2)</sup>, 2004). Segundo NUGENT<sup>(6)</sup> (1979) *apud* MENOSSI<sup>(2)</sup> (2004), esse material já era utilizado em tempos atrás, com a finalidade da produção de concretos utilizados em estruturas, blocos de concretos e em camadas de sub-bases asfálticas.

Se por um lado a construção civil é responsável por gerar muitos entulhos e produzir grandes desperdícios, por outro a mesma é apontada como o ramo da atividade tecnológica mais susceptível a absorver materiais alternativos, uma vez que possui diferentes componentes, com granulometrias variadas em sua composição (SAUTEREY<sup>(7)</sup>, 1978 *apud* LESSA<sup>(1)</sup>, 2005).

Novas alternativas para reutilização do lodo residual de ETE's vêm sendo avaliadas, buscando atribuí-lo destino adequado e sustentável no meio ambiente. Uma das opções consideradas viáveis é o uso na agricultura, uma vez que o lodo possui elementos nutritivos ao solo. No entanto, as redes de esgotos recebem efluentes de diferentes procedências, podendo conter altos teores de metais tóxicos. Esta prática poderia acarretar na contaminação do lençol freático.

Já na construção civil, em razão da similaridade das características granulométricas da areia, o lodo incinerado de ETE, livre de patogênicos e matéria orgânica, pode ser utilizado de forma eficaz na produção do concreto. O pó de pedra por sua vez, também possuindo propriedades semelhantes ao da areia, proporciona ao concreto o benefício de melhor trabalhabilidade. A incorporação desses resíduos se mostrou eficiente e não alterou, de forma considerável, a resistência do concreto.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi a avaliação da resistência à compressão do concreto, com substituição de 20% da areia natural, por 10% de lodo incinerado de ETE e 10% de pó de pedra, no intuito de reaproveitar materiais de rejeito e promover ações favoráveis ao meio ambiente.

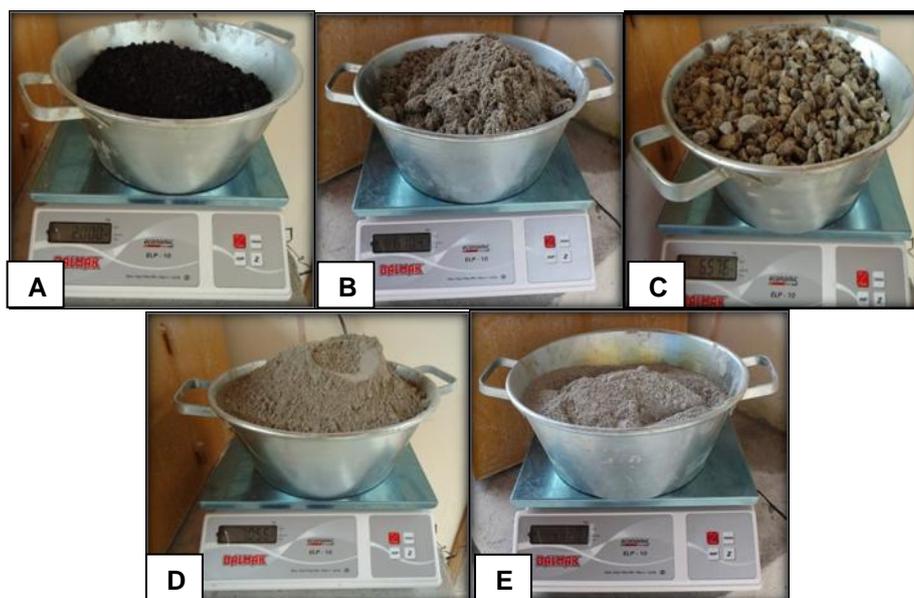
## **2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

Conforme a NBR 12655<sup>(8)</sup> (1996), que dispõe sobre os padrões de preparo, controle e recebimento do concreto, para sua confecção foram realizadas a caracterização dos materiais componentes do concreto (NBR 12654<sup>(9)</sup>:1992), estudos para dosagem adequada, ajustes, comprovação do traço e preparo final do concreto.

O traço desenvolvido para o concreto-referência, com *fck* de 20 MPa, resultou-se na relação de 1,00: 1,74: 2,43: 0,52 (cimento: areia: brita: água/cimento). Dessa forma, o concreto fabricado com as incorporações de 10% de lodo incinerado de ETE e 10% de pó de pedra, obteve uma proporção de areia fracionada em 1,392, e subsequentes proporções de 0,174 para cada resíduo.

O roteiro para realização dos corpos-de-prova de concreto foi executado segundo a metodologia preconizada pela NBR 5738<sup>(10)</sup> (2003), que estabelece o procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto.

Todos os componentes utilizados para a fabricação do concreto foram devidamente pesados em uma balança de precisão, marca Balmax, modelo ELP – 10 *economic - line next*, apresentados na Figura 1. A água utilizada para tal processo era tratada, proveniente da COPASA – MG e foi medida adequadamente em recipiente graduado.



**Figura 1:** Pesagem do aglomerante e dos agregados utilizados na confecção do concreto. A- Lodo incinerado de ETE, B - Areia Média, C – Brita 01, D – Pó de Pedra e E - Cimento

## 2.1 Aglomerante

O aglomerante hidráulico utilizado para o preparo do concreto foi o Cimento Portland (CP IV-32 RS), marca Liz. Os cimentos do tipo CP-IV (NBR 5736<sup>(11)</sup>:1991) são aglomerantes obtidos pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozzolânicos. As especificações e exigências físicas e mecânicas para tal cimento estão apresentadas na Tabela 1. Estas foram obtidas por meio do Guia Básico de Utilização do Cimento Portland, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

A designação de cimentos pelo acréscimo da sigla “RS” se refere aos cimentos resistentes a sulfatos, regidos pela NBR 5737<sup>(12)</sup> (1992), nos quais oferecem resistência aos concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. O CP-RS foi utilizado precavendo-se de possíveis presenças de sais dissolvidos na água e/ou compostos agressivos no lodo.

**Tabela 1:** Exigências Físicas e Mecânicas do CP IV de acordo com a ABCP.

Tipo de Cimento Portland	Classe	Finura		Tempos de Pega		Expansibilidade		Resistencia à compressão		
		Resíduo na peneira 75 mm (%)	Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
CP IV	25	≤ 8,0	-	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0
	≥ 10,0							≥ 20,0	≥ 32,0	

## **2.2 Agregados**

O agregado miúdo utilizado para a fabricação do concreto-referência foi a areia média. Para o concreto modificado foram utilizadas a areia média, o pó de pedra e o lodo incinerado da ETE. A areia apresentou umidade de 5%, fator considerado e trabalhado na relação água/cimento e na proporção de areia dos traços. Para ambos os corpos-de-ensaio foi utilizado o agregado graúdo, Brita nº 1 (um).

Na Estação de Tratamento de Esgoto de Teófilo Otoni - MG foi coletado o lodo seco (9 sacos de 50kg) para os ensaios. Posteriormente foi realizada uma trituração manual do lodo e em seguida a queima do material, reduzindo os tamanhos dos seus grãos a uma dimensão semelhante ao da areia média. O pó de pedra foi cedido pela Pedreira Mattar Ltda, empresa local de Teófilo Otoni/MG, que atua no ramo de mineração e cuja rocha beneficiada é a gnaisse (metamórfica).

## **2.3 Confeção e Moldagem dos corpos-de-prova**

Os ensaios foram realizados na Concreteira Mix Mattar, situada em Teófilo Otoni-MG. Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 5738<sup>(10)</sup> (2003), em fôrmas cilíndricas metálicas com dimensões de 0,1 X 0,2 metros, revestidas internamente com uma fina camada de óleo. Após a homogeneização

dos materiais em uma betoneira simples, conforme mostrada na Figura 2, foram preenchidas as fôrmas com concreto em duas camadas sucessivas, cada uma delas recebendo 12 golpes com auxílio de uma haste de adensamento e posteriores vibrações manuais.

Após a moldagem, os corpos de prova foram dispostos em superfície horizontal rígida, livre de vibrações e intempéries. Decorridas 24 horas, os mesmos foram desenformados, devidamente identificados e submersos em recipiente com solução saturada de hidróxido de cálcio à temperatura de aproximadamente 25°C.

Para cada um dos dois concretos confeccionados foram moldados seis corpos de prova destinados aos ensaios de resistência à compressão, sendo que três foram rompidos aos 7 dias de cura e os outros três aos 14 dias de cura, totalizando 12 corpos de prova.



**Figura 2:** Betoneira simples utilizada e corpos-de-prova fabricados.

## **2.4 Slump Test**

O *slump test* tem como objetivo medir a consistência do concreto no seu estado fresco para a verificação da trabalhabilidade do mesmo. Os critérios seguidos neste procedimento estão dispostos na NBR NM 67<sup>(13)</sup> (1998) (Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone). O cone metálico foi preenchido com três camadas de concreto, recebendo 25 golpes em cada uma. Após o preenchimento completo, retirou-se cuidadosamente o cone, de forma que o concreto ficasse modelado. Em seguida posicionou-se o cone de forma invertida, tornando possível a mensuração do abatimento do concreto. Estes testes estão apresentados na Figura 3.



Figura 3: *Slump test* por meio do abatimento do tronco de cone.

## 2.5 Ensaio de Compressão Axial

Antes de ser aplicado o ensaio de compressão axial, os corpos-de-prova foram retificados por meio de uma Faceadora, que retira uma fina camada do material a fim de torná-lo plano e perpendicular ao eixo longitudinal do apoio da prensa (NBR 5738<sup>(10)</sup>:2003). Feito isso, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão por meio de uma prensa hidráulica, monitorada por um manômetro, no qual forneceu a carga de rompimento do concreto avaliado.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

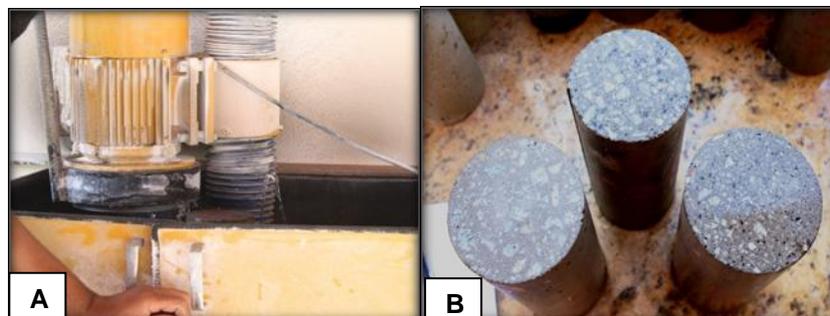
Para a obtenção do consumo de água aproximado do traço foi necessário fixar a dimensão máxima para o agregado graúdo e estabelecer um valor para o abatimento do tronco de cone, de acordo o método de dosagem da ABCP/ACI (ACI - *American Concrete Institute*). Baseando nesse princípio foi considerado um valor intermediário entre 60 mm e 80 mm de abatimento e 19 mm para dimensão máxima do agregado.

Após a produção do concreto, foram realizados os *slump tests* para o concreto-referência e para o concreto com incorporação de resíduos. Os resultados obtidos foram respectivamente, 70 mm e 65 mm, apresentando-se satisfatórios de acordo com o intervalo estabelecido inicialmente no processo.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados para idades de cura de 7 e 14 dias. Antes dos corpos-de-prova serem submetidos ao teste de compressão foi realizada a retificação dos mesmos, com a finalidade de se garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e gerar uma

superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos, de acordo com as recomendações da NBR 5738<sup>(10)</sup> (2008).

O resultado para este procedimento está apresentado na Figura 4, na qual se identifica a Faceadora em operação e os corpos-de-prova retificados.



**Figura 4:** A – Faceadora em operação, B- Corpos-de-prova retificados.

Após o processo de retificação dos corpos-de-prova foi realizado o rompimento dos mesmos em uma prensa hidráulica. Os resultados apresentados pelo manômetro da prensa até a ruptura da amostra (m<sup>2</sup>) foram em kgf, em seguida foram convertidas as unidades e calculada a tensão de ruptura ( $\sigma = F/A$ ) em MPa, conforme apresentados na Tabela 2.

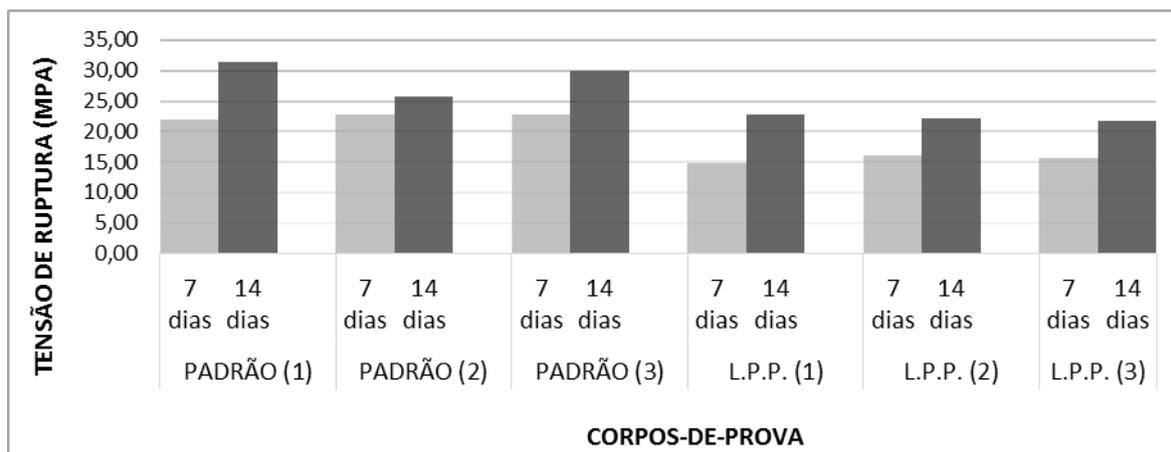
**Tabela 2:** Resultados das resistências à compressão.

CORPO-DE-PROVA	IDADE DE CURA	CARGA DE RUPTURA (tf)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)
<b>PADRÃO (1)</b>	7 dias	17,60	21,98
	14 dias	25,20	31,48
<b>PADRÃO (2)</b>	7 dias	18,20	22,73
	14 dias	20,60	25,73
<b>PADRÃO (3)</b>	7 dias	18,20	22,73
	14 dias	24,00	29,98
<b>L.P.P. (1)</b>	7 dias	11,80	14,74
	14 dias	18,20	22,73
<b>L.P.P. (2)</b>	7 dias	12,80	15,99
	14 dias	17,80	22,23
<b>L.P.P. (3)</b>	7 dias	12,60	15,74
	14 dias	17,40	21,73

\*L.P.P = Lodo e Pó de Pedra.

A tensão de ruptura média para o padrão aos 7 dias de cura foi 22,48 MPa, e aos 14 dias de cura 29,06 MPa. Enquanto nos concretos com incorporação de

resíduos as tensões médias foram 15,49 MPa e 22,23 MPa, respectivamente aos 7 e 14 dias de cura. Estes obtiveram uma redução de resistência de 31,09% aos 7 dias de idade e 23,50% aos 14 dias, comparadas às resistências dos concretos-referência. No perfil gráfico (Figura 5) é possível visualizar a redução das leituras realizadas nos dois tipos de concreto, padrão convencional (3 primeiros) e com adição de resíduos (3 últimos).



**Figura 5:** Perfil gráfico da resistência à compressão dos corpos-de-prova analisados.

De acordo com Hoppen<sup>(14)</sup> et al. (2005), para os concretos com até 15% de redução da resistência pode-se direcionar o uso em aplicações normais e produção de artefatos de concreto armado. No entanto, deve-se proceder à realização de outros ensaios mecânicos e de durabilidade. Os concretos com maiores reduções da resistência poderão ser utilizados em contrapisos, blocos e placas de vedação, peças decorativas e outras aplicações de caráter não estrutural.

Segundo Petrucci<sup>(15)</sup> (2005), a resistência mecânica à compressão é a principal propriedade do concreto no seu estado endurecido, uma vez que o concreto resiste predominantemente a esforços de compressão e resiste pouco a esforços de tração. A resistência à tração do concreto está na faixa de 10% da resistência à compressão.

A resistência do concreto pode ser entendida como a tensão última aplicada ao elemento até o momento da desagregação do material que o compõe. Este desempenho é caracterizado pela capacidade do material de suportar ações aplicadas sem que ele entre em colapso. Normalmente, utiliza-se a resistência à

compressão simples para medir a qualidade do concreto (BAUER<sup>(16)</sup>, 1991; ISAIA<sup>(17)</sup>, 2005).

A redução da resistência à compressão do concreto modificado pode estar associada à dureza dos materiais utilizados. A areia é de origem rochosa, enquanto o lodo é característico das argilas. O pó de pedra também é resultado do beneficiamento de rochas, porém sua granulometria e estrutura são menos expressivas do que o da areia média utilizada nos ensaios.

A estrutura morfológica da areia e similares se refere ao arranjo das partículas e está intimamente ligada ao sistema de desprendimento das mesmas. Quanto mais angulosas as partículas, mais agarradas e resistentes se tornam o material. Esta é uma pequena desvantagem do lodo e do pó-de-pedra em relação à areia média, pois são mais finos e de fácil desagregação.

#### **4 – CONCLUSÕES**

A incorporação de resíduos no concreto em substituição de 20% da areia mostrou-se eficiente. Os resultados do *slump test* e da resistência à compressão do concreto foram satisfatórios. Os *slump* obtidos nos dois tipos de concretos, padrão e com adição de resíduos, apresentaram-se dentro do intervalo esperado (60 a 80mm). Dessa forma, a coesividade dos materiais constituintes foi observada de forma eficaz no sistema. E a resistência à compressão do concreto modificado obteve uma pequena redução de 23,5% em relação ao concreto-referência aos 14 dias de cura.

O uso de materiais alternativos na construção civil constitui-se em um artifício importante para a sustentabilidade ambiental, uma vez que o concreto é altamente utilizado mundialmente. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se a possibilidade de proporcionar um destino adequado ao pó-de-pedra e ao lodo proveniente da ETE de Teófilo Otoni-MG. É indispensável a realização de novos ensaios com adição de outros resíduos e com variação das proporções dos mesmos, para a verificação de possíveis perdas ou ganhos de resistência à compressão do concreto. Neste estudo foi priorizada a comparação de um concreto convencional com um concreto com adição de dois resíduos, substituindo parte da areia.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) LESSA, G. T. **Contribuição ao estudo da viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento biológico de esgoto misto na construção civil.** Porto Alegre, 2005. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 1-134.
- (2) MENOSSI, RÔMULO T. (2004). **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** Ilha Solteira, 2004, 97p. Tese (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- (3) ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri.** 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro. ABNT, 2004.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregado para concreto.** Rio de Janeiro. ABNT, 1986.
- (6) NUGENT, F.R. Ensaio com areia artificial – Como melhorar seu concreto. In: **Colóquio sobre “Agregados para concreto”.** São Paulo, 1979. Anais São Paulo, IBRACON. p.1-29.
- (7) SAUTEREY, R., in: **Proceedings Aiaeenpc**, p. 1- 37, 1978.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto - Preparo, controle e recebimento.** Rio de Janeiro. ABNT, 1996.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12654: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto.** Rio de Janeiro. ABNT, 1992.
- (10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro. ABNT, 2003.
- (11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736: Cimento Portland Pozolânico.** Rio de Janeiro. ABNT, 1991.
- (12) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5737: Cimentos Portland resistentes a sulfatos.** Rio de Janeiro. ABNT, 1992.
- (13) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro. ABNT, 1998.

(14) Hoppen C., Portella, K. F., Joukoski, A., Baron, O., Franck, R., Sales, A., Andreoli, C. V., Paulon, V. A. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental.** Revista Cerâmica 51, p. 85-95, 2005.

(15) PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland.** Revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo: Editora Globo, 14ª ed., 2005, 307 p.

(16) BAUER, L. A. F. **A CURA DO CONCRETO: Métodos e Materiais.** Boletim nº 32, São Paulo, 1991, 33 p.

(17) ISAIA, G. C.. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações.** V. 01, São Paulo: IBRACON, 2005, 792 p.

## **MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE REPLACING 20% OF SAND FOR 10% INCINERATED SLUDGE AND 10% STONE POWDER**

### **ABSTRACT**

*The building is a sector of high economic and social relevance, particularly for the generation of services and absorption of hand labor. However, it has a high consumption of natural resources in their production cycle. The sludge and stone powder materials are improperly disposed on the environment, but their textural characteristics are compatible with the natural sand in concrete performance, making possible the incorporation. In this sense, the aim of this study was to evaluate the compressive resistance of concrete with replacement of 20% of sand for 10% incinerated sludge STS and 10% stone powder. The experimental procedure consisted in the characterization of raw materials, dosage studies for selecting the appropriate trait and comparison of six bodies-specimens incorporating waste to a reference concrete. In tests of compressive strength, dosages with addition of up to 20 % of the residues showed satisfactory results without loss of its resistance.*

**Key-words:** Sustainability, Alternative Materials, Building.