

## **II-252 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL DO CONCRETO COMPOSTO POR LODO DA ETA-6 DE PALMAS-TO**

**Jarllany Cirqueira Lopes<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins - UFT

**Juan Carlos Valdés Serra<sup>(2)</sup>**

Professor Adjunto do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins - UFT.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua/Av. NO-05, Lote 18 – Plano Diretor Norte - Palmas - Tocantins - CEP: 77001-020 - Brasil - Tel: +55 (63) 8444-2084 - e-mail: [jarllany@uft.edu.br](mailto:jarllany@uft.edu.br)

### **RESUMO**

Os sistemas de tratamento de água utilizam processos físico-químicos para tornar a água apta ao consumo humano. O lodo é um subproduto formado pela sedimentação dos flocos contendo impurezas no interior dos decantadores e durante a lavagem dos filtros e que por apresentar elevada carga poluidora, é um resíduo de difícil destinação. Nesse estudo, avaliou-se a resistência mecânica à compressão axial do concreto produzido com a utilização do lodo da Estação de Tratamento de Água 6 (ETA-6) em substituição parcial ao agregado miúdo. Para isso, realizou-se coletas de material na estação, secagem térmica e fragmentação do resíduo a fim de torná-lo o mais próximo das características da areia a ser substituída. Selecionou-se quatro traços de concreto, o primeiro sem a adição de lodo, definido como traço-referência e os demais com teores de lodo equivalentes a 2%, 3% e 5% em relação ao peso seco da areia. A partir dos resultados obtidos nos ensaios constatou-se que o traço 1, que realizou 2% de substituição pelo resíduo, apresentou concretos com melhores características, alcançando aos 28 dias resistência à compressão axial acima de 20 MPa. O traço com 3% e 5% de substituição por lodo não são indicados para obras que exigem resistência moderada. Entretanto, os resultados obtidos não impedem a sua aplicação em obras com fins não-estruturais, que são menos exigentes quanto a resistência mecânica. O reaproveitamento do lodo em concreto é uma alternativa interessante no aspecto ambiental uma vez que evita a degradação dos mananciais pelo lançamento do resíduo e ainda reduz os volumes de agregados naturais extraídos do ambiente

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETA, Concreto com resíduo, Resistência à compressão.

### **INTRODUÇÃO**

A acelerada urbanização das últimas décadas, ocupando áreas sem planejamento prévio, aumentou a demanda por saneamento básico, como o tratamento de água e esgoto. A expansão das empresas prestadoras de serviços de saneamento não veio acompanhada, em sua grande maioria, de um gerenciamento adequado dos resíduos gerados em suas operações.

Os resíduos originados durante o processo de purificação da água são formados principalmente nas etapas de filtração e decantação. Por volta de 60 a 95% do total de resíduos produzidos em uma ETA são originados nos decantadores, enquanto que a água de lavagem dos filtros produz cerca de 5 a 40%. (SILVA; ISAAC, 2002).

Diversos autores como Pereira (2008); Portella et al. (2003); Santos et al. (2000) enquadraram o lodo de ETA na Classe II A – Não Inertes a partir da comparação dos resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização com critérios prescritos pela norma NBR 10.004/2004.

De acordo com Costa (2011) entre as alternativas mais usadas para destinação final do resíduo de ETA estão: o lançamento nos cursos d'água, aplicação como condicionante de solo, disposição em aterro sanitário, incineração, compostagem com lixo urbano, incorporação ao concreto como agregado e a fabricação de tijolos cerâmicos.

A construção civil é uma atividade que consome grande parte dos recursos naturais existentes, absorvendo cerca de 20 a 50% do total de recursos utilizados pela sociedade. (CUNHA, 2004). Conforme Hoopen et al. (2005, p.10), a incorporação do lodo de ETA como agregado na produção de concreto representa uma forma

viável de destinação final, já que contribui para mitigação dos impactos ambientais ao evitar o despejamento do material nos corpos hídricos, e também reduz a extração de recursos naturais.

A Estação de Tratamento de Água 6 (ETA-6) é responsável pelo abastecimento 70% da cidade de Palmas. Atualmente, a empresa não trata o lodo produzido, no entanto, está em fase de obras para implantação de um sistema de tratamento de lodo denominado *BAGs*, sistema constituído de sacos drenantes que realizará a desidratação dos resíduos gerados durante a purificação da água.

Nesse sentido, o presente estudo avaliou a resistência mecânica à compressão axial dos concretos obtidos com a substituição parcial de agregado miúdo por lodo da ETA-6.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Como a fase de decantação gera a maior parte do lodo produzido em uma ETA, escolheu-se nesse estudo o lodo proveniente dos tanques de decantação. As coletas foram realizadas no local de convergência das tubulações de descarga dos decantadores. Realizou-se a secagem térmica em estufa laboratorial com temperatura na faixa de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por um período médio de 30 horas (tempo observado para desidratação completa do resíduo em estufa). Após seco, o lodo foi fragmentado até dimensões semelhantes as da areia. A figura 1 apresenta o lodo após fragmentação.



**Figura 1: Lodo produzido na ETA fragmentado em laboratório**

Utilizou-se como aglomerante o cimento Portland composto por filer (CP II-F-32), que teve suas características fornecidas pelo fabricante. A composição granulométrica dos agregados foi determinada a partir das recomendações da NBR NM 248: 2003 e o módulo de finura e dimensão máxima característica foram determinadas segundo a NBR 7211:2009.

Em seguida, procedeu-se ao estudo de dosagem, selecionando-se quatro traços de concreto, o primeiro sem a adição de lodo, definido como traço-referência (concreto-referência) e os demais com teores de lodo equivalentes a 2%, 3% e 5% em relação ao peso seco da areia. Tomou-se como referência o traço unitário 1:5 (cimento: (agregado miúdo + agregado graúdo)), comumente empregado nas obras civis. A Tabela 1 apresenta o traço em massa utilizado na confecção dos concretos.

**Tabela 1: Traços utilizados na moldagem dos corpos-de-prova**

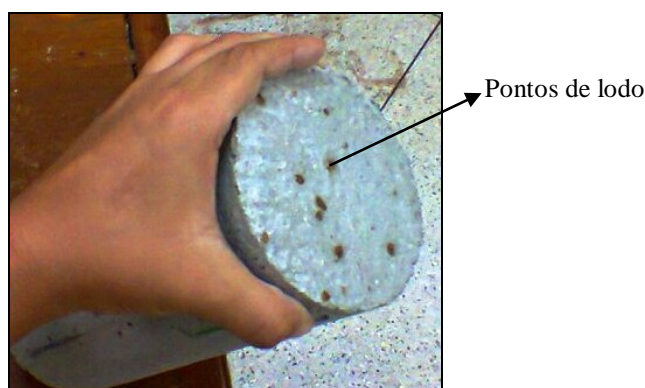
Teor de lodo	Traços (kg)				
	Cimento	Areia	Seixo britado	Água	Lodo
0%	1	2,22	2,78	0,63	---
2%	1	2,17	2,78	0,64	0,044
3%	1	2,15	2,78	0,64	0,066
5%	1	2,10	2,78	0,67	0,111

A moldagem dos corpos-de-prova seguiu as recomendações da NBR 5738: 2003. Foram moldados 4 corpos-de-prova cilíndricos para cada traço, de 10 cm diâmetro e 20 cm de altura. Depois do lançamento nas formas, os corpos-de-prova foram adensados por vibração mecânica. Em seguida, foram mantidos em cura úmida a  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e umidade relativa mínima de 95% até a data de realização dos rompimentos. Os corpos-de-prova foram rompidos aos 7 e 28 dias.

No ensaio de resistência à compressão axial (NBR 5739/2007), os corpos-de-prova foram submetidos a forças de compressão nas superfícies superior e inferior até o instante da ruptura do material.

## RESULTADOS

O agregado miúdo apresentou módulo de finura de 2,78% e dimensão máxima característica de 4,8 mm, classificando-se como areia média e o agregado graúdo, que apresentou dimensão máxima de 12,5 mm, como seixo britado número 0. O módulo de finura do lodo foi de 1,68%, classificando-o como material fino. O diâmetro máximo do resíduo foi de 0,6, bastante inferior ao da areia, o que proporcionou maior área superficial para absorção de água e consequentemente, redução na resistência à compressão axial. Observou-se pontos marrons nos corpos-de-prova com lodo quando foram retirados da câmara úmida, conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2: Pontos grados nos concretos com adição de lodo**

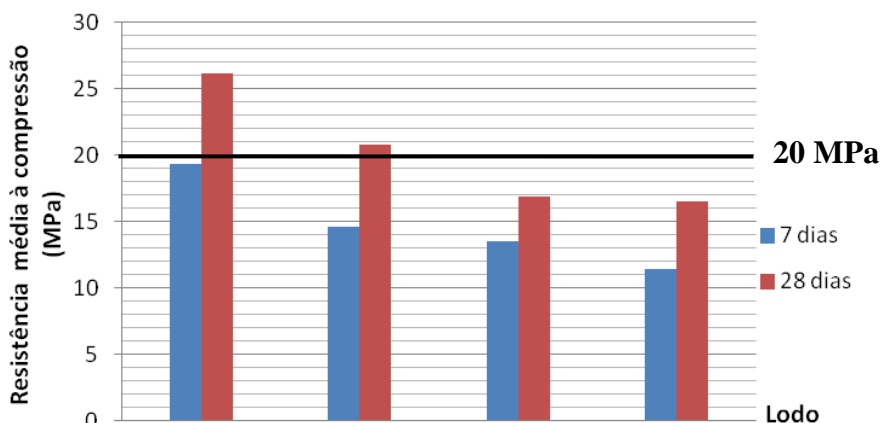
Para resultados mais consistentes, realizou-se o cálculo das médias e desvios- padrões dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial com o auxílio do programa Microsoft Excel. No ensaio aos 7 dias, a resistência média dos concretos estiveram abaixo de 20 MPa, que é a resistência mínima exigida na maioria das obras civis que utilizam concretos.

No ensaio aos 28 dias, em que o concreto já possui 90% de sua resistência máxima, o traço contendo 2% de Lodo de ETA (LETA) foi o único entre os traços com lodo que apresentou resistência média à compressão acima de 20 MPa, classificando-se como concreto estrutural de resistência moderada. Verificou-se que a resistência de todos os corpos-de-prova aumentou com a idade do concreto. A Figura 3 ilustra o ensaio de compressão axial.



**Figura 3: Ensaio de compressão axial**

Apesar do decréscimo da resistência em relação ao traço-referência, verificou-se que a resistência de todos os corpos-de-prova aumentou com a idade do concreto. Na Figura 4 é possível observar o aumento da resistência dos 7 dias para os 28 dias e o comportamento de cada traço com lodo em relação ao traço-referência.



**Figura 4 - Resultados do ensaio de Resistência à Compressão Axial**

A partir da análise do gráfico nota-se que a substituição no teor de 3% provocou a queda expressiva da resistência mecânica, com perda de 35,2% em relação ao concreto adotado como referência. Para o teor de 5% a redução foi maior ainda, correspondente 36,7%.

Hoopen et al. (2005) trabalhando com adições de 3%, 5% e 7% de lodo em substituição parcial à areia na produção de concreto, obteve maior resistência à compressão para a menor porcentagem de lodo acrescentado (3%). Pereira (2008) verificou que a adição de até 4% em massa de LETA seco substituindo o agregado miúdo natural possibilitou a obtenção de concretos com características mecânicas similares as dos concretos convencionais.

De acordo com a Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação de Palmas, o município não dispõe de especificação ou recomendação sobre a resistência mecânica para calçadas e meios-fios. Segundo Costa (2011), na cidade de São Paulo são recomendados resistência à compressão axial de 10 MPa para as calçadas. Dessa forma, os resultados encontrados não impedem a utilização do lodo da ETA-6 em elementos construtivos não estruturais como: calçadas, contrapisos, pisos de oficinas, blocos de vedação, peças decorativas, entre outros.

## CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos nos concretos com presença de lodo permite concluir que o resíduo por ser não-inerte e altamente poroso, prejudicou a resistência aos esforços de compressão axial dos corpos-de-prova.

O traço 1, que realizou 2% de substituição da areia por lodo foi o traço que conferiu melhor desempenho mecânico entre as dosagens estudadas. O traço com 3% e 5% de substituição por lodo não são indicados para obras que exigem resistência moderada. Entretanto, os resultados obtidos não impedem a sua aplicação em obras com fins não-estruturais, que são menos exigentes quanto a resistência mecânica.

Diante de uma legislação ambiental cada vez mais restritiva e dos altos custos para disposição em aterro sanitário, conclui-se que o reaproveitamento do lodo em concreto é uma alternativa interessante no aspecto ambiental uma vez que evita a degradação dos mananciais pelo lançamento do resíduo e ainda reduz os volumes de agregados naturais extraídos do ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 5738 de Dezembro de 2003. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro/RJ, 2003.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10004 de Maio de 2004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro/RJ, 2004.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR NM 248 de fevereiro de 2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro/RJ, 2003.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7211 de Maio de 2009. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro/RJ, 2009.
5. COSTA, A. J. Análise de viabilidade da utilização de lodo de ETA coagulado com cloreto de polialumínio (PAC) composto com areia como agregado miúdo em concreto para recomposição de calçadas - estudo de caso na ETA município de Mirassol - SP. 2011. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP.
6. CUNHA, M. V. P. O. Importância da frequência de descarte de lodo na eficiência de decantadores de estações de tratamento de água em ciclo completo. 2004. 263f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém-PA.
7. HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. Revista Cerâmica, v.51, n. 318, p.85-95, 2005. ISSN 0366-6913.
8. PEREIRA, E.G. Aproveitamento do resíduo da estação de tratamento de água de Cubatão para fabricação de elementos construtivos estruturais. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
9. PORTELLA, K. F. et al. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 22., Joinville. Anais...Joinville: ABES, p. 16-29. 2003.
10. SANTOS, I.S.S. et al. Caracterização e identificação do resíduo: lodo da estação de tratamento do município de São Leopoldo. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: AIDIS, 2000.
11. SILVA, A. P.; ISAAC, R. L. Adensamento por gravidade de lodo de ETA gerado em decantador convencional e decantador laminar. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., Cancún. Anais...Cancún: AIDIS, 2002.