

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND PELA CINZA DE LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

INFLUENCE OF PARTIAL REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT BY SLUDGE ASH FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT IN COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Tharlys Híkaró Pinheiro Silva(1); Hellen de Araújo Costa Rodrigues(2); Maria de Lourdes Teixeira
Moreira(3)

(1) Engenheiro Civil, Universidade Federal do Piauí.

(2) Engenheira Civil, Universidade Federal do Piauí.

(3) Professora Doutora, Departamento de Estruturas, Universidade Federal do Piauí.

tharlys.hikaro@gmail.com

Resumo

A busca pelo aproveitamento de resíduos provenientes de quaisquer atividades tem aumentado, motivada principalmente, pela preocupação em diminuir os impactos provocados pela deposição desses resíduos no meio ambiente. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da substituição parcial do cimento pela cinza de lodo de esgoto (CLE) proveniente de lagoas de estabilização sobre a resistência à compressão do concreto. A cinza de lodo de esgoto utilizada na pesquisa é proveniente da lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto da Zona Leste de Teresina - ETE-Leste. Foram moldados corpos de prova com CLE em substituição ao cimento nas proporções de 5%, 10% e 20%, além de um concreto de referência com os mesmos materiais. Por ocasião da moldagem dos corpos de prova foi realizado o ensaio do abatimento do tronco de cone e com 7 e 28 dias de cura executou-se o ensaio de resistência à compressão axial. Já durante a execução do ensaio de abatimento do tronco de cone foi possível perceber diferenças entre os concretos obtidos, tendo os concretos de maior porcentagem de CLE apresentado menor valor do abatimento. Com referência às resistências dos concretos ocorreu uma pequena redução da resistência à compressão para os valores de 5% e 10% de substituição e uma queda mais acentuada para o valor de 20%. Os concretos com porcentagem de CLE 0%, 5% e 10% foram classificados como concretos estruturais, entretanto o concreto com porcentagem de CLE 20% classificou-se como não estrutural.

Palavra-Chave: Lodo. Cinza. Concreto. Propriedades mecânicas.

Abstract

The attempt of using residue originated from any activities has increased. This is due to the search for alternatives which can reduce the amount of such residue in the environment and, as a consequence, decrease its impacts. This work aims at evaluating the compressive strength of the concrete with partial substitution of the cement in place of sewage sludge ashes (CLE) from stabilization lagoons. Sample parts were molded with sewage sludge ash in place of cement in the following proportions: 0%, 5%, 10% and 20%. By the occasion of the modeling of the sample parts a cone trunk reduction test was carried out and within 7 and 28 days of restoration the axial compression resistance test was carried out. During the implementation of the cone trunk reduction test it was possible to notice that there was a higher absorption of water directly proportional to a higher percentage of ash, however, for all the percentages the slump value was kept within the permitted values. Referring to the test carried out for obtaining the resistance of the concrete there was a small reduction on resistance for the values 5% and 10% and a stronger decay for 20%. The concretes with 0%, 5% and 10% CLE percentage are structural concretes, and the concrete with a 20% CLE percentage was classified as nonstructural.

Keywords: Sludge. Ash. Concrete. Mechanical properties.

1 Introdução

Lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). No início da implantação das ETEs no Brasil até há alguns anos atrás e ainda hoje, ilegalmente praticado, o destino do resíduo gerado (lodo de esgoto) vinham sendo os cursos d'água próximos às estações. Entretanto essa prática foi questionada devido aos riscos à saúde humana e ao meio ambiente, como por exemplo, a situação caótica criada no rio Tietê, em São Paulo, que ocasionou a morte do rio no trecho que banha a cidade (PIRES, 2006). A partir de 1990 foram criados conjuntos de leis que regulamentam descargas de poluentes nos ambientes aquáticos, porém, a disposição mais comumente utilizada hoje em dia, devido a essa preocupação ambiental e que mesmo assim não resolve completamente o problema, são os aterros sanitários.

A indústria da construção é um grande consumidor de recursos e materiais, o que faz dela um setor com enorme potencial para o aproveitamento tanto de materiais residuais gerados pelas suas próprias atividades como de materiais gerados por outros setores. Já existem alguns estudos que visam a utilização do lodo de esgoto na agricultura, como insumo agrícola e fertilizante, e até mesmo na construção civil.

O concreto é usado praticamente em todas as obras de construção civil. Segundo a Federación Iberoamericana Del Hormigón Premesclado (FIHP) são consumidas aproximadamente 1,9 toneladas de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que é retirado de centrais dosadoras é de aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos (INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON), 2009).

Um problema ambiental existente na fabricação do concreto reside na fabricação do próprio cimento, pois além de consumir 2% de toda a energia global, as cimenteiras também são responsáveis por 5% da emissão de dióxido de carbono (CO_2) de todo o mundo (na produção de uma tonelada de clínquer, é produzida uma tonelada de CO_2).

Uma das formas de amenizar os impactos da produção de cimento no meio ambiente é substituir parcialmente, em construções, o cimento por outros materiais (ECYCLE, acesso em 05 mai. 2015).

Tamanha importância do concreto faz com que cada vez mais se busque meios sustentáveis e eficazes para minimizar os problemas ambientais, ao mesmo tempo em que se busca garantir a eficácia das propriedades do concreto na construção civil.

Pesquisa com lodo calcinado para obtenção de cimento aponta que as cinzas do material possuem atividade pozzolânica (Tay & Show, 1991 apud PEREIRA, 2012). Logo, é possível que esse material possa melhorar ou manter as propriedades mecânicas do concreto sendo um substituto parcial do cimento.

2 Caracterização do problema

O uso da cinza de lodo de esgotos (CLE) oriunda da ETE, composta por lagoas de estabilização como substituto parcial do cimento na fabricação do concreto tem por objetivo reduzir os impactos ambientais originados pela fabricação do cimento e pela

deposição destes resíduos na natureza, desde que garantida a segurança ao ser utilizado. Para auxiliar nesta problemática, neste trabalho verificou-se a viabilidade do aproveitamento do lodo gerado na ETE - LESTE da cidade de Teresina, no estado do Piauí, e desenvolver estudo sobre a influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza deste lodo.

3 Metodologia

Para determinação do traço a ser utilizado no concreto utilizou-se uma dosagem racional já estabelecida por empresa especializada, em função dos resultados dos ensaios de caracterização dos materiais realizados com os mesmos materiais utilizados na pesquisa, variando apenas a quantidade de cimento em função da porcentagem de lodo que o substitui. O traço foi determinado para obter-se um concreto de resistência característica à compressão de 30 MPa. A figura 1 apresenta a metodologia utilizada nessa pesquisa.

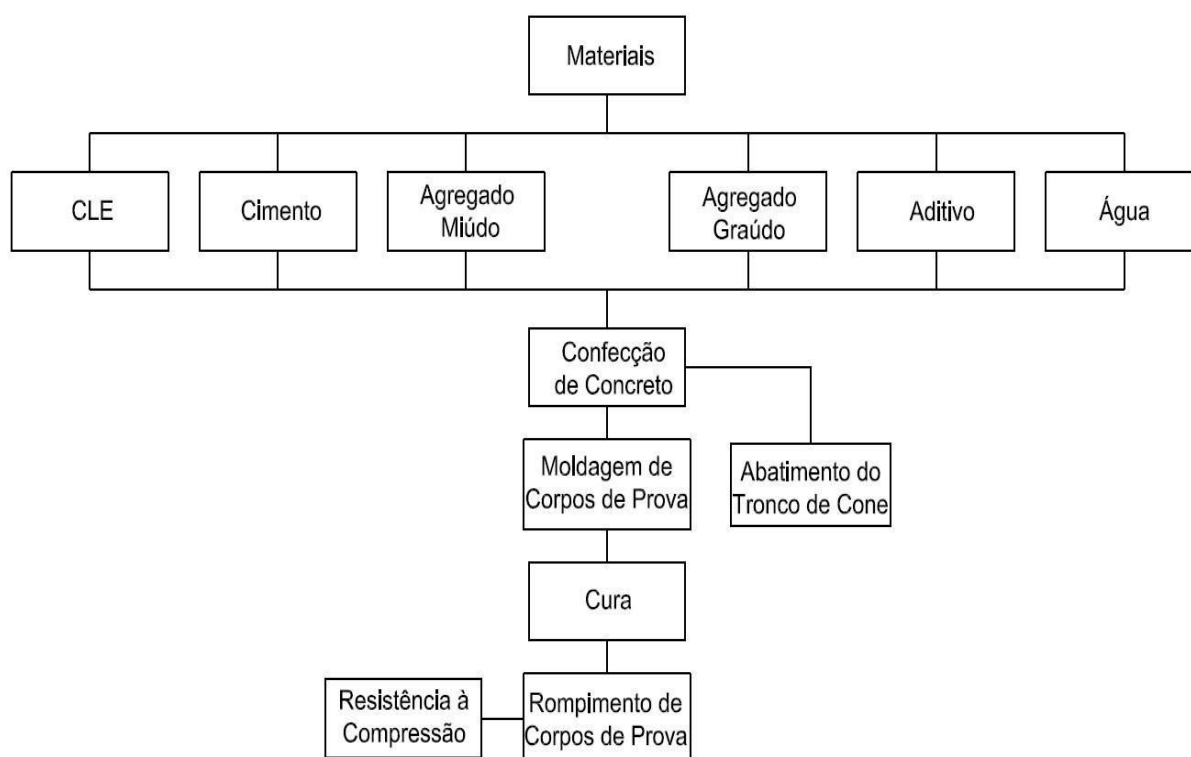


Figura 1 – Fluxograma de metodologia utilizada.

3.1 Materiais

3.1.1 Cinza de Lodo de Esgoto (CLE)

A CLE foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto – AGESPISA. Este material foi entregue já na forma de cinza e foi submetido ao peneiramento na peneira N° 200, malha de 0,075mm, para remover alguns sólidos grosseiros presentes na amostra. A figura 2 apresenta a cinza de lodo de esgoto obtida.



(a)



(b)

Figura 2 – CLE cedida pela AGESPISA (a) e CLE após peneiramento (b).

3.1.2 Cimento

Foi adquirido no comércio local de Teresina-Pi. O cimento utilizado foi o POTY (CP II – Z – 32) conforme especificado na dosagem. O cimento foi armazenado em local seco e protegido para evitar hidratação. Segundo a ABCP (2002), o CP II Z-32 é usado para aplicações gerais, preparo de argamassas de assentamento, revestimento, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto dentre outros.

3.1.3 Agregado Miúdo

Foi obtido através de doação do canteiro de obras da empresa J.S. ENGENHARIA, que, através de ensaios laboratoriais de caracterização, o classificou como areia fina com as seguintes características:

- Diâmetro máximo: 4,8mm;
- Módulo de Finura: 2,4;
- Massa Específica Real: 2,62kg/dm³;
- Peso Unitário: 1,44kg/dm³.

A figura 3 apresenta o agregado miúdo utilizado na pesquisa, obtido no canteiro de obras.



Figura 3 – Agregado miúdo (areia fina).

3.1.4 Agregado Graúdo

Foi obtido através de doação do canteiro de obras da empresa J.S. ENGENHARIA, que, através de ensaios laboratoriais de caracterização, o classificou como seixo fino + seixo médio (equivalente à brita 2) com as seguintes características:

- Diâmetro máximo: 25mm;
- Módulo de Finura: 7,2;
- Massa Específica Real: 2,60kg/dm³;
- Peso Unitário: 1,57kg/dm³.

A figura 4 apresenta o agregado graúdo utilizado na pesquisa, obtido no canteiro de obras.



Figura 4 – Agregado graúdo (seixo).

3.1.5 Aditivo

Utilizou-se o aditivo MASTERMIX 390 RC (aditivo plastificante polifuncional retardador de pega), que foi doado pela empresa J.S. ENGENHARIA. Esse aditivo propicia grande redução da água de amassamento com conseqüente aumento da resistência à compressão, aumento do tempo de trabalhabilidade e aumento do tempo de pega. Foi utilizado na dosagem de 170 ml/saco de cimento. A figura 5 apresenta o aditivo utilizado na pesquisa.



Figura 5 – Aditivo MASTERMIX 390 RC.

3.1.6 Água

Foi utilizada a água encanada proveniente da concessionária local.

3.2 Métodos

Com o traço dos materiais componentes do concreto estabelecido, determinou-se a quantidade de lodo necessária no traço substituindo, parcialmente, o cimento por uma porcentagem de cinza de lodo. O número de corpos de prova que foram feitos, assim como as porcentagens de cinza de lodo e as idades de ensaio adotadas podem ser vistas na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 –Quantidade de corpo de provas, porcentagem da cinza de lodo de esgoto e idades a ensaiar.

Adição de cinza de lodo de esgoto	Nº de corpos de prova	Nº de corpos de prova por idade dos ensaios	
		7 dias	28 dias
0%	4	2	2
5%		2	2
10%		2	2
20%		2	2

Todos os materiais foram pesados com balança de aproximação de três casas decimais para tornar o traço preciso. O concreto foi confeccionado manualmente, pois após uma tentativa de preparo em betoneira verificou-se que, por ser uma pequena quantidade, o material ficava preso no fundo da betoneira e não se misturava. Na produção do concreto de referência, 0%, executado manualmente, utilizou-se a seguinte ordem dos materiais: agregado miúdo, cimento, agregado graúdo e água. Na produção dos demais concretos, com porcentagens maiores que 0%, utilizou-se a ordem: agregado miúdo, cimento e CLE, agregado graúdo e água.

Com o concreto executado, foi realizada a moldagem dos corpos de prova em formato cilíndrico com 100x200 mm (diâmetro e altura) para todas as composições. Devido ao adensamento manual e o diâmetro de 100 mm dividiu-se a moldagem de cada corpo de prova em duas camadas com 12 golpes cada camada, conforme os procedimentos para moldagem presentes na NBR 5738 (2015). A figura 6 apresenta os moldes após a moldagem.



Figura 6 – Corpos de prova moldados.

Concomitante com a moldagem dos corpos de prova foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone (figura 7), conforme ABNT NBR NM 67 (1998) que determina a consistência do concreto, prevista em dosagem de $8\text{cm} \pm 2$.



Figura 7 – Ensaio de abatimento do tronco de cone.

Decorridas 24 horas da moldagem dos corpos de prova foi realizada a desmoldagem.

Após desmoldados, os corpos de prova foram identificados e armazenados em tanque com água à temperatura ambiente por 7 e 28 dias. Como tanque de cura utilizaram-se duas fôrmas, ou cubas, para lajes. Os corpos de prova foram identificados e armazenados conforme figura 8.



(a)



(b)

Figura 8 – Corpos de prova desmoldados e identificados (a) e armazenados (b).

Atingida a idade de rompimento, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio mecânico, para a obtenção da resistência a compressão, conforme a norma ABNT NBR 5739 (2007), respeitando a tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura. Para a realização do rompimento por compressão axial foi utilizado o Laboratório de Ensaio Mecânicos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí. A máquina utilizada para os ensaios é de fabricação da EMIC, modelo PC200C e capacidade máxima de 2000KN. Para cada idade e porcentagem de CLE foram submetidos ao ensaio dois corpos de prova e a resistência à compressão foi obtida através da média aritmética. Na figura 9 é possível observar o rompimento dos corpos de prova por compressão axial.



(a)



(b)

Figura .9 – Rompimento por compressão axial (a) e corpo de prova rompido (b).

4 Resultados e discussão

4.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone

O abatimento do tronco de cone para cada porcentagem de CLE pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Resultado do ensaio de consistência.

Porcentagem de CLE	Abatimento (cm)
0%	8,5
5%	8
10%	8
20%	7

É possível observar pelo resultado que todos os valores de abatimento se encaixam no valor previsto na dosagem racional, 8 ± 2 cm. Contudo também é possível observar a queda da trabalhabilidade quanto maior é a porcentagem de lodo presente, sugerindo uma maior absorção de água para valores maiores de CLE presentes.

Segundo Petrucci (1998), valores de abatimento entre 5 e 12 cm constituem uma consistência plástica (média) e são indicados para estruturas correntes de concreto. Segundo a ABNT NBR 8953 (2015), o concreto, para todas as porcentagens, é classificado na classe de consistência S50.

4.2 Ensaio de resistência à compressão axial

Nas tabelas 3 e 4 é possível observar os valores de resistência à compressão para os corpos de prova curados com 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 3 – Resultado do rompimento de corpos de provas (7 dias).

Tabela 3 - Resultado do rompimento de corpos de prova (7 dias)				
Identificação corpos de prova	Porcentagem de CLE	Idade de ensaio (dias)	Resistência a Compressão (MPa)	Média (MPa)
Amostra 1	0%	7	16,86	17,35
Amostra 2			17,84	
Amostra 1	5%	7	18,69	17,28
Amostra 2			15,87	
Amostra 1	10%	7	16,95	16,01
Amostra 2			15,06	
Amostra 1	20%	7	8,10	9,34
Amostra 2			10,58	

Tabela 4 – Resultado do rompimento de corpos de provas (28 dias).

Tabela 4 - Resultado do rompimento de corpos de prova				28 dias
Identificação corpos de prova	Porcentagem de CLE	Idade de ensaio (dias)	Resistência a Compressão (MPa)	Média (MPa)
Amostra 1	0%	28	27,75	28,65
Amostra 2			29,55	
Amostra 1	5%	28	27,76	27,79
Amostra 2			27,81	
Amostra 1	10%	28	26,42	24,81
Amostra 2			23,20	
Amostra 1	20%	28	19,39	18,71
Amostra 2			18,03	

Percebe-se, pelo resultado, uma redução do valor da resistência com o aumento da porcentagem de lodo presente no concreto. Para os valores de 5% a 10% observa-se uma variação pequena da resistência e a manutenção do concreto nos valores aceitáveis para um concreto estrutural. Já para a porcentagem de 20% observa-se uma queda mais acentuada do valor da resistência, valor esse que classifica esse concreto abaixo da classe C20, tornando-o não estrutural.

5 Conclusão

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a resistência à compressão do concreto com adição de cinza de lodo de esgoto como substituto parcial do cimento. Este material foi escolhido por dois motivos principais: ambiental, visando redução dos impactos, e econômico, visando redução do consumo de cimento, principalmente.

Constatou-se, através dos resultados que para valores entre 5% e 10%, de adição de CLE, a resistência à compressão do concreto manteve-se semelhante ao concreto de referência, 0%. Para valores superiores, 20%, pode-se perceber uma queda significativa do valor da resistência, provavelmente devido ao baixo efeito pozolânico da CLE, tornando não recomendado seu uso para fins estruturais.

Percebe-se que a CLE não apresenta nenhuma melhoria para o concreto, nas propriedades mecânicas, servindo, apenas, nos valores de 5 e 10% de adição de CLE, como uma forma de redução do consumo de cimento. Essa redução do consumo de cimento além de diminuir os impactos ambientais causados pela própria produção do cimento serve também para a redução dos impactos ambientais causadas pela disposição da CLE no meio ambiente.

Havendo parceria entre estações de tratamento de esgoto e empresas, existe a possibilidade de redução de custos, uma vez que as estações de tratamento não se preocupariam com os gastos relativos à disposição da CLE e as empresas diminuiriam o

consumo de cimento, que constitui um grande gasto na construção civil.

Conclui-se então que a utilização da CLE é bem possível, tanto para fins estruturais como para fins não estruturais e apesar de não beneficiar o concreto com aprimoramento de propriedades mecânicas beneficia o meio ambiente através da retenção, no concreto, dos materiais nocivos ao meio ambiente presente na CLE. No entanto, deve-se ressaltar a necessidade de realização de ensaios adicionais, com análise de outras propriedades mecânicas, algumas relacionadas à durabilidade do material, além de ensaios de ensaios de lixiviação e de solubilização da cinza.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ECYCLE - **Processo de produção do cimento gera emissões e pode diminuir biodiversidade**. Disponível em:

<<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1569-processo-de-producao-do-cimento-gera-emissoes-e-pode-diminuir-biodiversidade.html>>. Acesso em: mai. 2015.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto & construções, 2009. São Paulo.

PEREIRA, Kiev Luiz de Araújo. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. Natal, RN, 2012.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

PIRES, Adriana M. M. **Uso Agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Jaguariúna, 2006.