



Estudo das características de peças de concreto fabricadas com lodo de ETA

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF CONCRETE PARTS MANUFACTURED WITH SLUDGE FROM A WATER TREATMENT PLANT

Marcelo Henrique Leal de Oliveira*, Juliana Guerra Sgorlon[†], Mariane Borges Gheller[‡]

RESUMO

O tratamento da água para abastecimento público e industrial é um procedimento que promove grande geração de lodo, um resíduo que pode causar graves impactos ambientais quando depositado na natureza de forma inadequada. Procurando desenvolver uma alternativa para o problema, este trabalho tem como objetivo o estudo das características de peças de concreto fabricadas com incorporação parcial (5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%) de lodo proveniente de uma estação de tratamento de água localizada no norte do Paraná em substituição ao cimento. A metodologia utilizada para o estudo foi dividida em três etapas: caracterização do resíduo (lodo), fabricação das peças de concreto e avaliação das características químicas, físicas e mecânicas das peças produzidas. Os resultados obtidos demonstraram que os blocos de concreto fabricados com até 15% de lodo incorporado apresentaram resultados satisfatórios para a análise de absorção de água e resistência à compressão, além de estabilizar os metais contaminantes (alumínio e ferro) em sua matriz. Dessa forma, é possível concluir que a utilização de lodo de ETA como matéria-prima na construção civil é tecnicamente viável, desde que a incorporação do resíduo seja realizada em dosagens adequadas.

Palavras-chave: Tratamento, Resíduos, Solidificação, Estabilização, Concreto.

ABSTRACT

The treatment of water for public and industrial supply is a procedure that promotes large generation of sludge, a residue that can cause serious environmental impacts when improperly deposited in nature. Seeking to develop an alternative to the problem, this work aims to study the characteristics of concrete parts manufactured with partial incorporation (5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%) of sludge from a station treatment plant located in northern Paraná to replace cement. The methodology used for the study was divided into three stages: characterization of the residue (sludge), manufacture of concrete parts and evaluation of the chemical, physical and mechanical characteristics of the parts produced. The results obtained showed that the concrete blocks manufactured with up to 15% of incorporated sludge presented satisfactory results for the analysis of water absorption and compressive strength, in addition to stabilizing the contaminating metals (aluminum and iron) in their matrix. Thus, it is possible to conclude that the use of sludge from a water treatment plant as a raw material in civil construction is technically feasible, as long as the incorporation of the waste is carried out in adequate dosages.

Keywords: Treatment, Waste, Solidification, Stabilization, Concrete.

1 INTRODUÇÃO

A urbanização e o crescimento populacional decorrente dos últimos anos têm sido responsáveis por demandas crescentes de bens de consumo, energia e água para abastecimentos público e industrial, gerando



grandes volumes dos mais variados resíduos. O lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETAs) possui características diversas, dependendo da tecnologia de tratamento adotada e da gestão deste resíduo, e a disposição final deste lodo de ETA, no Brasil, é quase sempre realizada em corpos hídricos, gerando impactos no corpo d'água que recebe o lodo como destino final, como o aumento da quantidade de sólidos, aumento de cor e turbidez, redução da penetração de luz, diminuição da atividade fotossintética e concentração de oxigênio dissolvido, assoreamento, aumento da concentração de alumínio e ferro na água, dependendo do coagulante utilizado no tratamento da água bruta, entre outros impactos. Então, os gestores responsáveis por sistemas que lançam resíduos in natura nos corpos d'água devem iniciar ações que permitam avaliar a forma de geração e destino dos mesmos e definir estratégias para essa solução (CORDEIRO, 2001; ACHON, 2015; ANDREOLI, 2006; SMIDERLE, 2016; ACHON, 2013).

Ao redor do mundo houve um avanço da legislação voltada para a proteção do meio ambiente e, conseqüentemente, foram desenvolvidos métodos para reduzir o volume de resíduos e técnicas alternativas para utilização do lodo (SMIDERLE, 2016). Uma das alternativas que está sendo considerada uma das técnicas mais promissoras é a solidificação/estabilização do resíduo, inserindo-o como matéria-prima no processo produtivo de alguns materiais, como cerâmica e cimento (OLIVEIRA, 2008). Ao utilizar lodo de ETA em substituição parcial à areia para a produção de peças de concreto, Tafarel (2016) observou que as amostras fabricadas com 5% de resíduo incorporado apresentaram condições satisfatórias de resistência à compressão axial quando comparadas ao concreto de referência. Segundo os resultados obtidos por Hoppen (2005), os traços com até 5% de lodo em substituição a areia podem ser aplicados em situações que vão desde a fabricação de artefatos e blocos até a construção de pavimentos. Hillesheim (2018) utilizou lodo de ETA em substituição parcial ao cimento e verificou que todas as dosagens estudadas (5%, 10% e 15%) mostraram-se viáveis do ponto de vista de resistência à compressão. Já os estudos realizados por Alexandre (2020) indicaram que o emprego do lodo de ETA em matrizes de concreto pode ser uma alternativa segura para a sua destinação final.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é determinar os teores adequados para a incorporação do lodo de ETA na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, em substituição parcial ao cimento, visando um tratamento/disposição adequada para este tipo de resíduo, bem como, diminuição de custos para a construção civil.

2 MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto pode ser dividida em três etapas: caracterização do resíduo; fabricação dos blocos de concreto (pavers); avaliação das características físicas, químicas e mecânicas das peças produzidas.

2.1 Caracterização do resíduo

O resíduo em estudo é proveniente de uma ETA localizada no norte do estado do Paraná. A estação de tratamento opera com ciclo convencional e utiliza o cloreto de polialumínio (PAC) como agente coagulante principal.

O resíduo foi submetido ao ensaio de lixiviação, de acordo com a ABNT NBR 10005 (2004). Para obtenção do extrato lixiviado utilizou-se um agitador mecânico rotativo. A análise quantitativa dos metais de interesse (alumínio e ferro) foi realizada em um espectrômetro de absorção atômica (SPECTRAA-240FS).

Por fim, para a realização da análise de difração de raios-x (DRX), utilizou-se um difratômetro de bancada (D2 PHASER). O equipamento apresenta como fonte de raios-x um tubo com ânodo de cobre e potência máxima de 300W. Realizou-se a análise para uma faixa angular (2θ) de 20-70 graus e incremento angular de 0,03 graus/segundo.



2.2 Fabricação dos blocos de concreto

Para a fabricação dos blocos, o cimento foi substituído parcialmente por lodo de ETA nas proporções de 0 (Referência), 5, 10, 15, 20, 25 e 30%. A Tab. 1 mostra as quantidades, em massa, utilizadas de cada componente para a produção dos blocos de referência.

Tabela 1 - Traço utilizado para fabricação dos blocos de referência.

Traço	Areia (g)	Brita (g)	Cimento (g)	Resíduo (g)	Água (g)
Referência	2074	4000	1700	0	680

Fonte: Autoria própria (2021).

Os blocos de concreto foram fabricados em triplicata para cada traço (Referência, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%) no laboratório P001 da UTFPR-Apucarana. Após mistura dos componentes, o concreto foi transferido para o molde retangular com dimensões de (15,9 x 9,5 x 8,0) cm. O molde foi intensamente agitado com auxílio de um peneirador elétrico, proporcionando uma melhor distribuição do concreto. Os blocos de concreto confeccionados foram mantidos a temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, os blocos foram retirados dos moldes e devidamente identificados. Por fim, os corpos de prova foram deixados por 40 dias imersos em água para a cura. O tempo de cura de 40 dias deu-se devido a suspensão das atividades presenciais na universidade devido a pandemia (COVID-19).

2.3 Caracterização dos corpos de prova

Após a cura, os blocos de concreto foram submetidos ao ensaio de absorção de água, de acordo com a ABNT NBR 9781 (2013).

Após os ensaios de absorção de água, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão. O equipamento utilizado para tal teste foi uma prensa hidráulica do modelo YAW-2000S, produzida pela Time Group Inc. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados com base na ABNT NBR 9781 (2013).

Os resultados de absorção de água e resistência à compressão das peças fabricadas foram submetidos a análises estatísticas – Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey – por meio da utilização do software STATISTICA 8.0, com limite de confiança de 95% para avaliar a existência de diferença entre as médias das composições.

Após os ensaios de resistência à compressão, os corpos de prova com maior porcentagem de lodo incorporado foram submetidos ao ensaio de lixiviação, de acordo com a ABNT NBR 10005 (2004). Utilizando um agitador mecânico rotativo, obteve-se o extrato lixiviado. A leitura dos componentes de interesse presentes no extrato foi realizada em um espectrômetro de absorção atômica (SPECTRAA-240FS).

A eficiência de retenção de metais pode ser calculada a partir da Eq. (1).

$$ER (\%) = \frac{(C_{Bruto} - C_{Tratado})}{C_{Bruto}} * 100 \quad (1)$$

Onde, ER representa a eficiência de retenção (%), C_{Bruto} a concentração do metal no extrato lixiviado do resíduo bruto (mg/L), e $C_{Tratado}$ a concentração do metal no extrato lixiviado da matriz de concreto (mg/L).

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização do resíduo

A Tab. 2 apresenta as concentrações de alumínio e ferro encontradas no extrato lixiviado dos resíduos a partir da espectroscopia de absorção atômica.

Tabela 2 - Concentração de metais no lixiviado do resíduo.

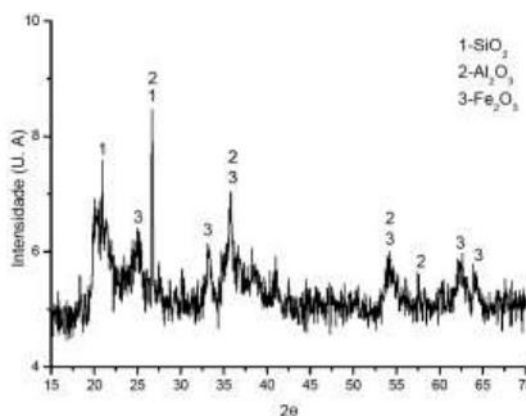
Metal	Limite NBR 10004/2004 (mg/L)	Concentração (mg/L)
Alumínio	-	10,04
Ferro	-	13,68

Fonte: Autoria própria (2021).

O Anexo F da ABNT NBR 10004 (2004) não especifica limite de concentração no extrato lixiviado para os metais alumínio e ferro. Entretanto, o estudo da presença de metais é um importante parâmetro a ser analisado para observação da retenção de metais na matriz de concreto. Portanto, o lixiviado do resíduo será posteriormente comparado com o lixiviado dos corpos de prova, com o objetivo de avaliar a eficiência de retenção desses metais.

A Fig. 1 apresenta o difratograma obtido pela análise de difração de raios-x do lodo estudado.

Figura 1 - Difratograma do lodo estudado.



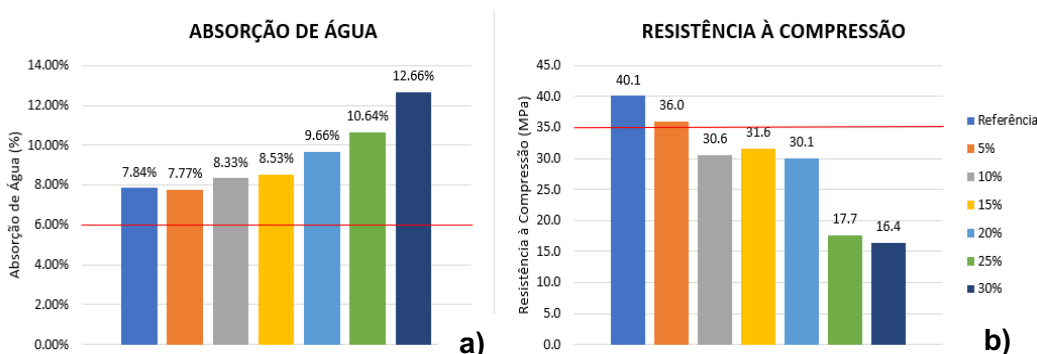
Fonte: GHELLER (2021).

O difratograma obtido indica a presença de estruturas cristalinas nas amostras, sendo o dióxido de silício (SiO_2), o óxido de alumínio (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3), os principais componentes observados. Portanto, nota-se um possível potencial do lodo como matéria alternativa para a produção de concreto, visto que o cimento, componente utilizado na fabricação de concreto, contém em sua estrutura, em proporções adequadas, sílica, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido férrico.

3.2 Análise dos corpos de prova

A Fig. 2 apresenta os valores médios obtidos nos ensaios de absorção de água e resistência à compressão dos blocos de concreto fabricados com o lodo paranaense.

Figura 2 – 2a) Absorção de água e 2b) Resistência à compressão dos blocos produzidos.





Fonte: Autoria própria (2021).

Os resultados obtidos mostraram uma tendência de aumento na capacidade de absorção de água com o aumento da quantidade de resíduo incorporado ao paver. Observa-se por meio da Fig. 2a que todos os blocos, inclusive o bloco de referência, apresentaram valores de absorção de água superiores ao valor exigido pela ABNT NBR 9781 (2013) (6%, representado pela linha em vermelho). Entretanto, os blocos fabricados com 5% de lodo incorporado apresentaram um valor de absorção de água menor do que aquele observado para os blocos de referência.

Aplicando a ANOVA nos valores médios de absorção de água, obteve-se um p-valor igual a zero, ou seja, menor que 5%, o que significa que há diferenças significativas entre as médias de absorção de água. O teste de Tukey indicou que a substituição de cimento por até 15% de lodo não acarretou diferenças significativas de absorção de água com relação aos blocos de referência, já as médias de absorção dos blocos com 20% a 30% apresentaram valores diferentes e superiores à referência.

Ainda de acordo com os resultados apresentados pela Fig. 2b, observou-se uma tendência de queda da resistência à compressão dos blocos com o aumento da quantidade de resíduo incorporado. Segundo a ABNT NBR 9781 (2013), a resistência mínima característica exigida para os blocos de concreto a serem utilizados na pavimentação de vias para tráfego de veículos leves deve ser maior ou igual a 35MPa. Percebe-se, portanto, que os blocos fabricados com 5% de lodo incorporado apresentaram uma resistência superior àquela prevista pela legislação, assim como os blocos de referência.

Aplicando a ANOVA nos valores médios de resistência à compressão das peças, encontrou-se, novamente, um p-valor igual a zero, menor que 5%, indicando a existência de diferenças significativas entre as médias de resistência à compressão. Novamente, pelo teste de Tukey, observou-se que a substituição de cimento por até 15% de lodo não acarretou diferenças significativas na resistência à compressão das peças em comparação aos blocos de referência, enquanto as médias de compressão dos blocos com 20% a 30% de lodo apresentaram valores diferentes e superiores aos demais.

Por fim, com o objetivo de avaliar a estabilização e a solidificação dos metais contaminantes (alumínio e ferro) nas matrizes de concreto, realizou-se o ensaio de lixiviação nos blocos com maior porcentagem de lodo incorporado. Os resultados obtidos por meio da leitura do lixiviado, bem como a eficiência de retenção (Eq. (1)) para cada um dos contaminantes, são apresentados pela Tab. 3.

Tabela 3. Concentração de metais no lixiviado e eficiência de retenção.

Metal	Concentração (mg/L)	Eficiência de Retenção
Alumínio	0,4966	95,05%
Ferro	0,0053	99,96%

Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se pela Tab. 3 que a eficiência de retenção apresentou valor superior a 95% para ambos os metais contaminantes estudados (alumínio e ferro), indicando uma estabilização desses metais nas matrizes de concreto, comprovando que a utilização de lodo de ETA como matéria-prima na construção civil não afeta as características de mobilidade dos metais, excluindo problemas de contaminação ambiental.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados experimentalmente, conclui-se que o lodo proveniente de ETAs pode ser utilizado, em dosagens adequadas, como matéria-prima para fabricação de blocos de concreto. A



substituição parcial do cimento mostrou-se eficiente para a proporção de até 15% de lodo incorporado, apresentando resultados satisfatórios nos ensaios de absorção de água e resistência à compressão, além de estabilizar os metais contaminantes na matriz de concreto.

Portanto, pode-se afirmar que o lodo de ETAs possui características e comportamentos em matrizes de concreto que permitem classificá-lo como um resíduo sólido industrial passível de ser utilizado como matéria-prima no ramo da construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil, UTFPR Apucarana e LAMAP - AP, fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali Laguna; BARROSO, Marcelo Melo; CORDEIRO, João Sérgio. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013.
- ACHON, Cali Laguna; CORDEIRO, João Sérgio. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA-Lei 12.305/2010**. XIX Exposição De Experiências Municipais Em Saneamento, 2015.
- ALEXANDRE, Elisandro; LUZ, Caroline Angulski da. **Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA)**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, 2020.
- ANDREOLI, C. V. (. **Alternativas de uso de resíduo do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Projeto PROSAB.
- CORDEIRO, João Sérgio. **Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)**. Andreoli, CV, Coord., Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e disposição final, Projeto PROSAB, v. 2, p. 121-142, 2001.
- GHELLER, Mariane. **Estabilização e solidificação de resíduos de ETA em matrizes de concreto**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- HILLESHEIM, Gabriella. **Estudo sobre o uso do lodo das estações de tratamento de água como substituição de porcentagens do cimento em matrizes de concreto não estrutural**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- HOPPEN, Cinthya et al. **I-106-ESTUDO DE DOSAGEM PARA INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM MATRIZ DE CONCRETO, COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL**. 2005.
- OLIVEIRA, Lisandra Tamiozzo de. **Incorporação de resíduo de curtume em artefatos cerâmicos - Uma alternativa para redução de Passivo Ambiental**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2008. 104 p.
- SMIDERLE, Juliana Jerônimo. **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA DESTINAÇÃO FINAL DO LODO DA ETA LARANJAL/RJ**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- TAFAREL, Nathann Francisco et al. **Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 21, p. 974-986, 2016.