



Estudo de tijolos ecológicos confeccionados com lodo de ETA

Study of ecological bricks made with WTP sludge

Matheus F. A. Santos¹, Julio Marcos Gomes Ribeiro², Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschläger³, Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli⁴

RESUMO

Este estudo objetivou incorporar o lodo resultante do tratamento de água (ETA) na fabricação de tijolos ecológicos. No Brasil, o lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) é resíduo do tratamento convencional de água. Incorporar o lodo na produção de tijolos de solo-cimento é uma solução promissora, originalmente são feitos com a mistura de solo, cimento, água e aditivos. E desde que os parâmetros de qualidade sejam mantidos a adição do lodo pode ser uma oportunidade de reciclagem. O lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) passa por uma série de análises para determinar suas características fundamentais. Avaliar o uso de lodo de Estação de Tratamento da água (ETA) como substituto da água na mistura de solo-cimento para a produção de tijolos ecológicos, mostraram que se produzidos com lodo de ETA não alcançaram a resistência requerida por norma. Apesar disso, os tijolos mostraram-se impermeáveis e lixiviação de alumínio ficou abaixo dos limites permitidos pela norma. Concluindo-se assim que o lodo de ETA tem potencial de aplicação na produção de tijolos ecológicos e não causa danos ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de tratamento de água, oportunidade de reciclagem, tijolo ecológico

ABSTRACT

This study aimed to incorporate the sludge resulting from water treatment (WTP) into the production of eco-friendly bricks. In Brazil, the sludge from Water Treatment Plants (WTP) is a residue from conventional water treatment. Incorporating the sludge into the production of soil-cement bricks is a promising solution; originally, they are made from a mixture of soil, cement, water, and additives. As long as quality parameters are maintained, the addition of sludge can be a recycling opportunity. The sludge from Water Treatment Plants (WTP) undergoes a series of analyses to determine its fundamental characteristics. Evaluating the use of WTP sludge as a substitute for water in the soil-cement mixture for eco-friendly brick production showed that bricks produced with WTP sludge did not achieve the required strength according to the standard. However, the bricks proved to be impermeable, and aluminum leaching remained below the limits allowed by the standard. Thus, it can be concluded that WTP sludge has the potential for application in eco-friendly brick production and does not harm the environment.

KEYWORDS: Water treatment sludge, Recycling opportunity, Ecological bricks

INTRODUÇÃO

No Brasil, o lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) é um resíduo do tratamento convencional de água, classificado como resíduo sólido de classe II A pela NBR 10004/2004 (SANTOS, 2021). Composto por água e minerais, representa 3% do volume

¹ Iniciação científica voluntária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: matheusfasantos@gmail.com. ID Lattes: 4875083254110972

² Mestrando de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: Julio.marcos7@outlook.com. ID Lattes: 1784309223911967

³ Docente no Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: carlos.emmanuel@gmail.com. ID Lattes: 3665960850946571

⁴ Docente no Departamento de Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: jpietrobelli@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7261115658729291



de água tratada (WAGNER et al., 2019), mas sua alta umidade (aproximadamente 95%) e baixo teor de sólidos (2%-4%) resultam em custos elevados de transporte e, em muitos casos, descarte em corpos d'água, causando impactos ambientais (MORSELLI et al., 2022).

Uma solução promissora é incorporar o lodo na produção de tijolos de solo-cimento, seguindo a NBR 8491/2012. Os tijolos de solo-cimento são feitos com uma mistura de solo, cimento, água e aditivos (ABNT, 2012). A escolha adequada do solo é crucial, considerando proporções e limites de liquidez e índice de plasticidade (SILVA e BARROS, 2020).

A adição do lodo pode ser uma oportunidade de reciclagem, desde que os parâmetros de qualidade sejam mantidos. Pesquisa e desenvolvimento são essenciais para a gestão sustentável (SANTOS, 2021).

A utilização de tijolos ecológicos na construção reduz o impacto ambiental ao incorporar materiais reciclados, como lodo de Estações de Tratamento de Água, diminuindo a quantidade de resíduos descartados e a demanda por recursos não renováveis. Além disso, esses tijolos oferecem propriedades térmicas e acústicas excelentes, tornando-os uma escolha sustentável que promove a eficiência energética e o conforto nas edificações, contribuindo para a construção sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ETA

O lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) passou por uma série de análises para determinar suas características fundamentais.

A medição do pH foi conduzida com um pHmetro digital, devidamente calibrado com solução padrão tampão. O lodo foi homogeneizado e a leitura do pH foi realizada após inserção do eletrodo na solução.

Para determinação da quantidade de sólidos sedimentáveis seguiu-se a NBR 10561/1988. O objetivo foi avaliar o volume de materiais do lodo de ETA que podem sedimentar em uma solução aquosa. A amostra de lodo de ETA foi homogeneizada e transferida para um cone Imhoff. Após um período de repouso de 1 hora, determinou-se a proporção volumétrica de lodo de ETA em um espaço de 1 litro no cone.

A análise de turbidez envolveu a leitura da quantidade de sólidos em suspensão no lodo líquido sobrenadante e no lodo líquido homogeneizado, em um turbidímetro digital DEL LAB, modelo DLI 2500. A solução aquosa de lodo de ETA foi homogeneizada em um Becker de 100 mL e, em seguida, uma quantidade de 5 a 10 mL foi transferida para a cubeta do turbidímetro. O procedimento foi realizado em triplicata.

PREPARO DO SOLO

Este estudo adotou a o trabalho de Gonçalves (2021), que se concentrou na análise dos efeitos da incorporação de cinzas de caldeira em combinações de solo e cimento. Para a corrente pesquisa utilizou-se o mesmo solo de Gonçalves (2021) com composição granulométrica 52,13% de areia, 36,27% de argila e 11,59% de silte, sendo classificado como argila de baixa compressibilidade e granulação fina.

A preparação das amostras de solo foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos na NBR 6457/2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de compactação. Inicialmente, o solo passou por uma secagem preliminar, sendo exposto ao ar até atingir o ponto de umidade higroscópica. Em seguida,



o solo foi peneirado através de uma malha de 4,8 mm para a separação das partículas maiores.

Posteriormente, procedeu-se ao destorroamento do solo, essa etapa envolveu a desagregação dos torrões que estavam aglomerados às partículas do solo. O processo foi conduzido transferindo o solo que passou completamente pela peneira de 4,8 mm para um almofariz. Utilizando uma mão de gral revestida de borracha, os torrões foram desfeitos com cuidado, de modo a evitar a quebra das partículas do solo. Isso foi essencial para preservar a integridade dimensional das partículas do solo. A técnica empregada foi a de fricção, na qual foi aplicada energia na mão de gral, causando atrito no solo, sem esmagá-lo, a fim de evitar qualquer alteração na identidade das partículas.

DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE MATERIAL UTILIZADO POR TIJOLO

Para o experimento, uma planilha de dosagem foi criada para determinar as quantidades de solo, lodo de ETA, água e cimento com base em equações específicas. As equações usadas envolvem a umidade, o peso específico natural (γ_n) e o peso específico aparente seco do solo (γ_d). Os valores de umidade ótima, umidade higroscópica, teor de cimento e pesos específicos foram fixados. O γ_d escolhido foi $1,70 \text{ gf.cm}^{-3}$ com 7% de cimento. A umidade ótima foi calculada considerando a umidade higroscópica, resultando em 13,18% de lodo de ETA adicionado à mistura. Com base nos teores de cimento selecionados, foram calculados os pesos específicos naturais (γ_n) e as massas totais de cada corpo de prova, incluindo a quantidade de água no solo e a massa de lodo substituindo a água. A massa de cimento foi calculada de acordo com o teor adotado. O Quadro 01 representa a quantidade de cada elemento para a mistura.

Quadro 01 - Traços de mistura solo-lodo-cimento

γ_d – teor de cimento %	Traço das Misturas
$\gamma_{d2} - 1,70 \text{ gf.cm}^{-3}$ $\gamma_{d2} - 7 \%$	Solo (g) - Lodo (g) - Cimento (g) 2430,05 - 347,72- 182,91

Fonte: Autoria própria

CONFECÇÃO DO TIJOLO

O processo de execução começou com a mistura dos materiais para alcançar uma homogeneização uniforme. Foi crucial desagregar pequenas partículas aglutinadas de solo e cimento para evitar uma dispersão inadequada durante a moldagem.

Assegurar uma distribuição uniforme durante a adição do lodo líquido foi essencial para manter um perfil de umidade constante e evitar áreas excessivamente úmidas, o que poderia prejudicar a moldagem e a extração dos corpos de prova. Corpos de prova com teor de umidade inferior ao estimado eram propensos a rachaduras devido à falta de hidratação adequada.

Em seguida, foram fabricados tijolos, utilizando tanto água quanto lodo, com diferenças no tipo de molde e processo de cura. O lodo foi adicionado alternadamente com a água, garantindo a uniformidade na mistura. O processo de cura envolveu 14 dias de aspersão com irrigador manual e mais 14 dias de cura ao ar livre, totalizando 28 dias.



ENSAIO DE COMPRESSÃO

Para o ensaio de compressão simples, foram utilizados 4 tijolos com água e 4 tijolos com lodo de ETA, seguindo as diretrizes da NBR 8492/2012. Após um período de cura de 28 dias (14 dias de umedecimento e 14 dias de cura ao ar livre), os corpos de prova foram secos em estufa a 105-110 °C até atingirem massa constante, obtendo a massa m_1 do corpo de prova seco em gramas. Em seguida, os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas, pesados após a imersão, e obtida a massa m_2 do corpo de prova saturado em gramas. Essas medidas foram usadas em uma equação para determinar os resultados do ensaio de compressão simples.

ANÁLISE DO LIXIVIADO

A partir do ensaio e permeabilidade, coletou-se um material lixiviado e analisou-se o teor de alumínio, devido à presença desse elemento no lodo de ETA. Essa análise foi realizada de acordo com as normas NBR 10004/2004 e NBR 10005/2004 para determinar a capacidade de transferência de substâncias do resíduo sólido, é importante ressaltar que o lodo de ETA tende a ter alumínio resultante da adição de agente coagulante (Policloreto de Alumínio) no processo do Tratamento de água. O objetivo foi comparar o teor de alumínio lixiviado com o limite máximo de solubilização estabelecido na NBR 10004/2004, considerando que o lodo de ETA é usado como composto para a hidratação na mistura de solo-cimento compactado.

RESULTADO E DISCUÇÕES

Seguindo os procedimentos descritos acima, obtive os seguintes valores expostos na Tabela 01.

Tabela 01 – Caracterização do lodo de ETA

pH	6,63
ρ (g.cm ⁻³)	0,937
Concentração de Sólidos Secos (mg.L ⁻¹)	5058,3
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	500
Turbidez (NTU)	321

Fonte: A autoria própria

Os resultados obtidos da confecção do tijolo com lodo de ETA e com água estão apresentados nas Tabela 02 e Tabela 03.

Tabela 02 – Tijolo confeccionado com lodo de ETA

Numeração do tijolo	γ_d obtido (gf.cm ⁻³)	Massa do CP obtida (g)	Absorção de água(%)	Ensaio de compressão simples
1	1,66	2830	-	0,94
2	1,67	2955	-	0,90



3	1,52	2650	19,22	-
4	1,56	2720	-	0,67
5	1,58	2840	-	0,81
6	1,61	2855	19,07	-
7	1,59	3130	-	0,81
8	1,63	2860	-	0,99
9	1,57	2770	19,98	-
10	1,62	3125	-	0,36
11	1,67	3040	-	0,37
12	1,11	2000	19,25	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 03 – Tijolo confeccionado com água

Numeração do tijolo	γ _d obtido (gf.cm ⁻³)	Massa do CP obtida (g)	Absorção de água	Ensaio de compressão simples
1	1,66	2825	-	0,74
2	1,67	2950	-	0,40
3	1,67	2955	16,59	-
4	1,68	2870	-	0,59
5	1,62	2770	-	0,57
6	1,72	3200	16,80	-
7	1,69	3045	-	0,66
8	1,68	2845	-	0,72
9	1,68	2900	18,30	-
10	1,62	2852	-	0,51
11	1,69	3000	-	0,61
12	1,65	2825	17,71	-

Fonte: Autoria própria

Ao analisarmos os resultados obtidos nos ensaios de tijolos de solo-cimento de acordo com a norma NBR 8492/2012, podemos observar que o traço de mistura utilizado atendeu aos requisitos estabelecidos. Conforme a norma, a absorção nos tijolos aos 28 dias de idade deve ser individualmente de $A \leq 20\%$.

Os resultados da resistência de compressão apresentaram discrepâncias, possivelmente, devido a problemas na prensagem, causando uma diferença na densidade do tijolo em relação ao traço calculado. A densidade selecionada foi 1,70 gf.cm⁻³, mas a média foi de 1,23 gf.cm⁻³ para tijolos com mistura de lodo e 1,28 gf.cm⁻³ para tijolos com água.

QUANTIDADE DE ALUMINIO LIXIVIADO

Foi coletado líquido lixiviado durante um teste de permeabilidade. O líquido foi analisado em um laboratório externo para determinar o teor de alumínio por absorção atômica. Os resultados foram comparados com os limites máximos definidos na NBR 10004/2004, e ficaram abaixo do limite estabelecido.

CONCLUSÃO

Este estudo investigou o uso de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) como substituto da água na mistura de solo-cimento para a produção de tijolos ecológicos. Os



resultados mostraram que os tijolos atenderam aos requisitos de absorção de água estabelecidos pela norma técnica, porém não atingiram os requisitos de resistência à compressão estabelecidos pela norma. Além disso, o ensaio de permeabilidade indicou que os tijolos eram impermeáveis, e a lixiviação de alumínio estava abaixo dos limites permitidos pela norma. Portanto, o uso do lodo de ETA na produção de tijolos ecológicos mostrou-se viável, pois não causou danos ao meio ambiente e atendeu aos requisitos de qualidade estabelecidos.

Agradecimentos

Agradeço a UTFPR e ao laboratório de solos da UEPG, sem esse auxílio, nada seria possível. Gostaria também de agradecer aos meus amigos e familiares por todo apoio e companheirismo.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005: Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8492: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

GONÇALVES, G. **Efeitos da adição de resíduo de cinza de caldeira em misturas de solo e cimento na absorção de água e na resistência à compressão simples**. 2021. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

MORSELLI, L. B. G. A.; CARMOS, L. A. G.; QUADRO, M. S.; ANDREAZZA, R. **Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo**. Scientia Plena 18, 051701 (2022).
PESSIN, L. R.; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização física, química e mineralógica de resíduo de estação de tratamento de águas para aproveitamento em tijolo solo-cimento. **55º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, 29 de maio a 01 de junho de 2011, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

SANTOS, L. A. R. dos; MICHELAN, D. C. de G. S.; JESUS, T. M de. Verificação da produção de lodo de ETA em função da quantidade e da qualidade da água. **BIOENG**, v. 15, n. 2, p. 235-258, 2021.

WAGNER, L. F.; WIECHTECH, G. K.; SZÉLIGA, M. R. Avaliação de estação de tratamento de esgoto com reator anaeróbio recebendo lodo de estação de tratamento de água Actiflo®. **Eng Sanit Ambient** | v.24 n.4 | jul/ago 2019 | 709- 717.