

INVESTIGAÇÃO DAS APLICAÇÕES DA BIOMASSA RESIDUAL DO TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

INVESTIGATION OF THE APPLICATIONS OF RESIDUAL BIOMASS FROM WATER TREATMENT (WTP) IN THE CIVIL CONSTRUCTION INDUSTRY

Leonardo Rocha Simão 1
Aymara Gracielly Nogueira Colen 2
Fabricio Machado Silva 3

Resumo: Este estudo tem como objetivo investigar a aplicabilidade da biomassa residual de Estações de Tratamento de Água (ETAs) na indústria da construção civil, destacando seu potencial contribuição para práticas mais sustentáveis. Analisando a viabilidade técnica de incorporar o lodo de ETA em diferentes materiais de construção. As porcentagens de inclusão adequadas foram identificadas como 3% a 5% para concreto, até 5% para blocos de solo-cimento, 3% a 20% para tijolos cerâmicos, e 5% a 15% para uso em pavimentação. Essas aplicações ajudam a reduzir a exploração de recursos naturais e minimizam custos operacionais, além de promoverem a reciclagem de resíduos. A pesquisa investiga e ressalta a necessidade de otimizar tratamentos e misturas do lodo para garantir a segurança e o desempenho estrutural dos materiais e diante do exposto, enfatiza a necessidade de aumentar a aceitação comercial para assegurar a integração efetiva desses materiais inovadores na indústria da construção civil.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Biomassa de ETA. Construção Civil. Materiais de construção.

Abstract: This study aims to investigate the applicability of residual biomass from Water Treatment Plants (WTPs) in the construction industry, highlighting its potential contribution to more sustainable practices. It examines the technical feasibility of incorporating WTP sludge into various construction materials. Appropriate inclusion percentages were identified as 3% to 5% for concrete, up to 5% for soil-cement blocks, 3% to 20% for ceramic bricks, and 5% to 15% for use in paving. These applications help reduce the exploitation of natural resources and minimize operational costs, in addition to promoting waste recycling. The research investigates and underscores the need to optimize treatments and mixtures of the sludge to ensure the safety and structural performance of the materials and, in light of this, emphasizes the need to increase commercial acceptance to ensure the effective integration of these innovative materials in the construction industry.

Keywords: Sustainability. WTP Biomass. Civil Construction. Building Materials.

1 - Graduanda em Engenharia Civil (pela CESUP. ORCID: 0009-0001-6147-3931. E-mail: cristielenrodrigues12@gmail.com

2 - Docente especialista dos cursos de engenharia civil e arquitetura do Centro de Ensino Superior de Palmas (CESUP). Professora em regime horista pelo Instituto Tocantinense de Educação Superior e Pesquisa - Centro Universitário (UNITOP). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2629720005400959>. ORCID: 0000-0002-2109-9826. E-mail: brennavictoriamudo@gmail.com

3 - Graduanda em Engenharia Civil (pela CESUP. ORCID: 0009-0001-6147-3931. E-mail: cristielenrodrigues12@gmail.com

4 - Docente especialista dos cursos de engenharia civil e arquitetura do Centro de Ensino Superior de Palmas (CESUP). Professora em regime horista pelo Instituto Tocantinense de Educação Superior e Pesquisa - Centro Universitário (UNITOP). Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2629720005400959>. ORCID: 0000-0002-2109-9826. E-mail: brennavictoriamudo@gmail.com

Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas a população mundial era de 2,6 bilhões de pessoas, em 1950 chegou a 5 bilhões, em 1987 e, em 1999, 6 bilhões. Em outubro de 2011, a população mundial era de 7 bilhões. Isso mostra que apenas durante esse período a população quase triplicou em número. Sepúlveda (2020) afirma que a ONU afirma ainda que a população mundial deverá aumentar em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, passando dos atuais 7,7 bilhões para 9,7 bilhões em 2050, e, pode chegar a cerca de 11 bilhões em 2100.

Mediante isso, a demanda por recursos naturais a serem utilizados no setor da construção civil, se amplia para atender a demanda populacional. No ritmo de consumo atual, estamos consumindo 50% de recursos a mais do que a capacidade que o planeta tem de regenerar-se, segundo literatura sobre pegada ecológica. É um número preocupante, ou seja, estamos a meio século atrasados em buscar uma solução para essa questão. Por esse motivo que o setor tem buscado por fontes não-convencionais de recursos para serem empregados nas cadeias produtivas das obras de engenharia, dentre os diversos ramos, destacam-se o de edificações, saneamento, pavimentação asfáltica.

O setor da construção civil, como é bastante poluidor quanto explorador de recursos naturais, vem ao longo do tempo buscando novas maneiras e possibilidades viáveis aplicáveis, para o enfrentamento desse problema.

Sabe-se que o processo de Tratamento de Água nas Estações (ETAs) geram significativas quantidades de biomassa residual (lodo) cujo descarte e gestão representam desafios ambientais e econômicos. Sendo um dos mais expressivos, à adoção de soluções adequadas e eficientes, para a destinação deste resíduo sólido e/ou semissólidos nos aspectos econômicos, técnico (tecnológico) e ambiental.

Segundo Santana (2019, p. 02), o aproveitamento de lodos de estações de tratamento como insumo na construção civil, surgiu da necessidade de que principalmente os países desenvolvidos, tinham que encontrar um destino final para o descarte dessa matéria.

Ademais, o concreto com incorporação de resíduos das estações de tratamento de água, o (lodo), torna-se um material sustentável, o que contribui com o meio ambiente, e até mesmo resultando na diminuição dos custos de produção. Uma vez que os componentes para produção de concreto são de custos elevados, a incorporação do LETA, levaria a diminuição da demanda desses recursos naturais, além de contribuir para o não descarte inapropriado desse resíduo no meio ambiente. Além do concreto, essa biomassa pode ser aplicada em materiais de construção como tijolos e blocos, assim como aditivos para argamassas e cimentos, pavimentação, dentre outros.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é estudar a aplicação de lodo gerado na estação de tratamento de água para ser utilizado na construção civil.

Metodologia

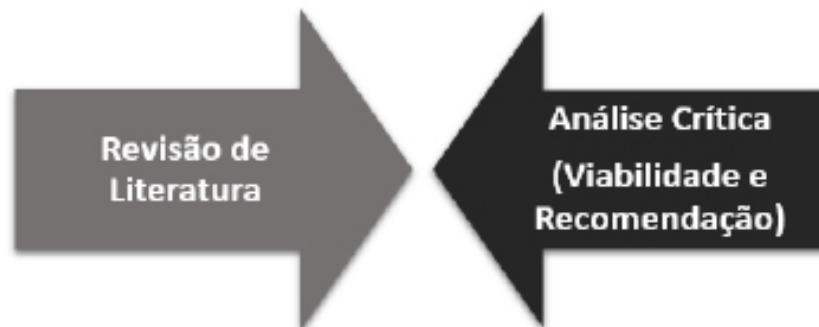
Classificação do Estudo

A metodologia da pesquisa se desenvolveu de forma bibliográfica e analítica Figura 1. A Bibliográfica envolveu uma revisão da literatura, incluindo artigos de periódicos, dissertações, teses, e relatórios de conferências que discutem a aplicação do lodo de ETA em materiais de construção, como o concreto, blocos e tijolos cerâmicos e pavimentação. O foco estará em identificar, coletar e sintetizar estudos que já exploraram a aplicação, eficácia e impactos ambientais deste resíduo como material construtivo.

A Analítica se refere a uma análise crítica realizada para avaliar a viabilidade, as vantagens, limitações desses materiais com base nos estudos existentes. Sendo assim, essa análise auxiliou a formular recomendações para pesquisas e práticas domésticas, comerciais

e industriais.

Figura 1. Etapas de Abordagem Metodológica



Fonte: AUTOR (2024).

Coleta e Análise de Dados

As fontes de dados foram os artigos e relatórios técnicos, bem como teses, dissertações, livros, periódicos nas bases de dados *Google Acadêmico*, *Scopus*, e *Web of Science* e bibliotecas universitárias, normas e legislações da área de engenharia civil, engenharia sanitárias e gerenciamento de resíduos, além de vídeos correlatos.

- **Análise Temática:** Identificação de temas recorrentes e padrões emergentes nos dados coletados. Esta análise ajudará a construir uma compreensão dos avanços e das áreas que ainda necessitam de desenvolvimento.
- **Síntese de Evidências:** Combinação dos resultados dos diferentes estudos para formular conclusões gerais sobre a eficácia e viabilidade do uso de biomassa de ETA na construção civil.
- **Análise Crítica:** Avaliação crítica das metodologias dos estudos revisados, como critérios de inclusão e exclusão claros para selecionar estudos que abordam especificamente o uso do Biomassa (lodo) de ETA em aplicações de construção civil, verificando as possibilidades de aplicações deste resíduo com valor agregado, conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019) (MB-1). Isso incluiu filtros por ano de publicação priorizando dados mais recentes recorridos a partir do ano 2010, tendo essa relevância do tópico, e qualidade metodológica. Para a extração de dados aplicou-se palavras-chave, relacionada a objetivos do estudo, metodologias usadas, principais descobertas e recomendações.

Utilizou-se ferramentas para revisão de literatura e análise e o Software MORE cadastro de referências e revistas e respectivo gerenciamento dessas referências.

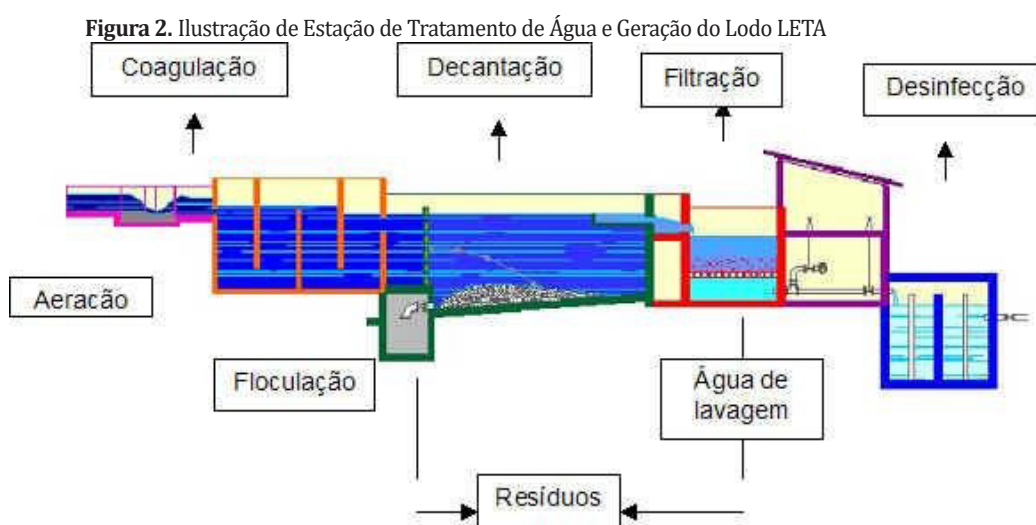
Processo de Geração dos Lodos de Estações de Tratamento de Água (LETA)

O processo de tratamento convencional é composto pelas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração (Figura 2). No Brasil, o lodo gerado na indústria de potabilização da água (ETA - Estação de Tratamento de Água), é enquadrado como resíduo sólido e/ou semissólido pela NBR 10.004 da ABNT (2004) e pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), evidentemente, não deve ser lançado nos corpos d'água sem tratamento.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (PNRS), no art. 3º par. VII afirma que a

destinação final ambientalmente adequada resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e ao meio ambiente (BRASIL, 2010).

O atual Decreto nº 10.936 de 12 de janeiro de 2022, regulamenta a Lei supracitada, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022). Dentre os fatores aplicáveis à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos estão: Não geração de resíduos, redução de resíduos sólidos, reutilização, reciclagem, tratamento, bem como destinação de resíduos sólidos e disposição final dos rejeitos.



Fonte: BDT@ (2021).

O uso de insumos nas etapas do tratamento contendo metais, como o sulfato de alumínio, pode aumentar a concentração desse metal. Devido a isso, surge a grande preocupação em destinar e/ou dispor corretamente o resíduo lodo de ETA (LETA), além do aumento do volume de chorume, quando o lodo é disposto em aterros, o que contribui para desencadeamento de impactos ambientais adversos (FONTES, 2008).

Caracterização do Lodo de ETA

A partir da caracterização e determinação é de suma importância, pois a partir dela é que se definem a magnitude e o tipo de impacto ambiental gerado, relacionado à disposição do resíduo (subproduto) do tratamento de água.

Nos decantadores das ETAs, os lodos gerados devem ser removidos periodicamente dos decantadores e filtros (Figura 3) para garantir a eficiência do tratamento. O sistema de remoção dos lodos dos decantadores ou flutuadores é responsável por parte das características finais dos mesmos, principalmente no que se refere à concentração de partículas. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física e assim, o material removido da água bruta é retido em tanques por um certo tempo, e a partir daí ocorre as possibilidades de destinação e disposição.

Figura 3. Lodo de ETA no Tanque de Decantação de uma Estação de Tratamento de Água



Fonte: ACEMAX (2021).

Silva, Bidone e Marques (2000) citado por Hoppen (2004, p. 10), complementam a composição dos lodos com hidróxidos de alumínio em grande quantidade, provenientes da adição de produtos químicos e, em alguns casos, polímeros condicionantes também utilizados no processo.

O Quadro 1 e o Quadro 2 mostram os percentuais dos componentes presentes nos lodos de ETAs.

Quadro 1. Composição Típica do Lodo de ETA		Quadro 2. Características do lodo da ETA Imperatriz Leopoldina de São Leopoldo, RS			
Parâmetros	Lodo de ETA	Composição Química		Lodo de ETA (%)	
% sólidos	6,6	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	LODO DA ETA (%)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	LODO DA ETA (%)
Perda de MO por ignição	33	SiO ₂	34,80	SiO ₂	34,80
TOC (%)	3	Al ₂ O ₃	22,30	Al ₂ O ₃	22,30
NKT (%)	0,6	TiO ₂	0,94	TiO ₂	0,94
Relação C/N	7:1	Fe ₂ O ₃	6,60	Fe ₂ O ₃	6,60
NH ₃ – N (%)	0,05	CaO	0,40	CaO	0,40
P Total	0,2	K ₂ O	0,57	K ₂ O	0,57
Al (%)	7,1	Na ₂ O	0,23	Na ₂ O	0,23
Fe (%)	6,9	MgO	0,69	MgO	0,69
pH	6,8	MnO	0,17	MnO	0,17
CaCO ₃ (%)	10 – 25	S (ppm)	290	S (ppm)	290
Coliformes (#/gm)	<20	FeO	2,90	FeO	2,90
Cd Total (ppm)	1,5				
Cu Total (ppm)	134				
Ni Total (ppm)	55				
Pb Total (ppm)	88				
Zn Total (ppm)	308				
Fonte: HOPPE (2004).		Fonte: MARGEM (2008, p. 10).			

As características do resíduo podem ser divididas em função de sua importância e do interesse do estudo. Assim pode-se classificar as características em:

Ambientais: para que as questões ambientais sejam analisadas, principalmente quanto à disposição, os seguintes parâmetros são importantes: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas e fertilizantes, compostos orgânicos voláteis, dentre outros;

Geotécnicas: esta caracterização é necessária para evidenciar possíveis formas de remoção de água e de futuras utilizações para os sólidos resultantes. Alguns desses parâmetros são: tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e limite de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade (SILVEIRA, 2014, p.11).

Beneficiamento do Lodo de ETA para Aplicação na Construção Civil

Para que o lodo seja incorporado no concreto como um aditivo, ele deve passar por um processo de beneficiamento, como apontado nos trabalhos de Santos et al. (2018). A seguir, os procedimentos adotados por esta pesquisadora.

Secagem em estufa: A secagem do lodo foi executada em um forno do tipo estufa. Com o objetivo de estimar o tempo ideal para retirar o excesso de umidade presente no lodo, foram efetuados testes utilizando um analisador de umidade. Após cada ciclo de secagem em estufa, submetia-se uma amostra do material seco à análise de umidade. Dessa forma, foi possível fixar o tempo e a temperatura adequados para o procedimento de secagem em 110 °C por 8 horas, pois sob tais condições a amostra de lodo seco submetida à análise apresentou apenas 6,3% de umidade e o nível de dureza do material foi considerado adequado para o processo de moagem mecânica.

Moagem: Quando submetidas a tratamento térmico, as partículas de materiais argilosos tendem a se aglomerar. Quando isso acontece a moagem mecânica se faz necessária. O lodo da forma como recebido era basicamente composto de partículas finas, porém, após a secagem em estufa, suas partículas se agregaram, adquirindo um aspecto de pequenas rochas. Para desagregá-las, o lodo devidamente seco foi submetido à moagem mecânica, realizada em um moinho de bolas cerâmico universal, com capacidade de 7,5 litros. Como corpos moedores foram utilizadas esferas cerâmicas cujos diâmetros mediam, em média, 45, 27 e 14 milímetros. Admitiu-se uma proporção de bolas/lodo de 2:1. Usou-se um terço da capacidade do moinho, por um período de 2 horas.

Peneiramento: O material devidamente seco e moído, foi peneirado manualmente em uma peneira da ABNT nº 100 (abertura da malha de 150 µm), com o auxílio de um pincel, a fim de possibilitar a remoção de partículas grosseiras remanescentes e um processo de calcinação uniforme. Apenas o lodo proveniente do Rio Negro foi submetido a esse procedimento.

Calcinação: Neste procedimento utilizou-se um forno do tipo mufla, a 750 °C por 6 horas. Devido às semelhanças químicas e mineralógicas entre lodos de ETA e certas argilas caulínicas, os parâmetros adotados na calcinação foram definidos de acordo com a literatura referente a esses minerais.

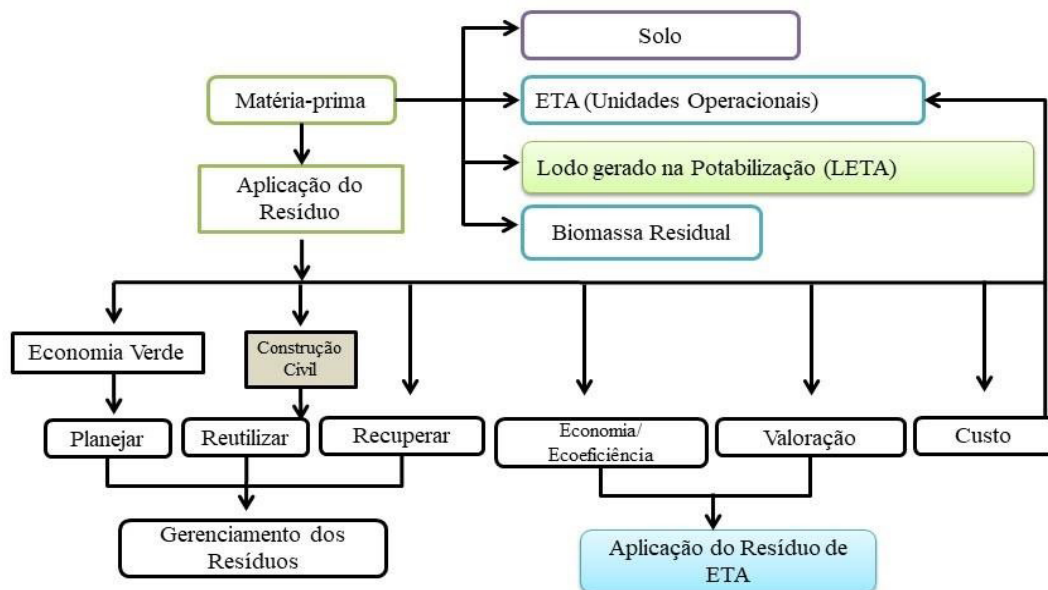
Resultados e Discussão

Aplicações Técnica da Biomassa Residual de ETA (LETA)

A ISO 37120/2017, primeira norma técnica brasileira para cidades sustentáveis, pondera um aspecto global de indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida, e sua aplicação deve prever harmonia com as normas e legislações vigentes, segundo SECOVI (2017). A ABNT a fim de atingir o progresso sustentável, esses indicadores podem ser utilizados para rastrear e monitorar a evolução do desempenho da cidade, relacionadas ademais, ao conceito de cidades inteligentes.

Dessa maneira, devem ser realizadas experiências que possibilitem a implantação de sistemas simples que permite que estações de tratamento de pequeno e médio portes, possam buscar alternativas de disposição adequada e possível reúso deste material residual (PROSAB, 2001). Como é o caso desta aplicação na construção civil (Figura 4), agregando expressivos valores diretos e indiretos no ambiente, na economia, na tecnologia, e para a sociedade como um todo.

Figura 4. Aplicação do LETA como elemento da Construção Civil



Fonte: PESQUISADORES (2024).

A indústria da construção civil enfrenta pressões crescentes para adotar práticas mais sustentáveis e reduzir sua pegada ecológica. A utilização de biomassa residual de ETAs como material na construção civil pode ser uma estratégia promissora para abordar ambos os desafios. Uma vez que, pode contribuir para o desenvolvimento sustentável do planeta, incorporando aos seus meios de produção a Biomassa de estações de tratamento de água (ETA).

Diante dos estudos realizados, tem-se o Quadro 3 com os % (percentuais) de biomassa de ETA aplicados nos diferentes ramos da construção civil.

Quadro 3. % de Lodo de ETA Aplicado

Utilização na Construção civil	% Aplicado
Concreto	3% a 5%
Bloco (tijolo solo-cimento)	até 5%
Tijolo cerâmico	3% a 20%
Pavimentação	5% a 15%

Fonte: AUTOR (2024) (adaptado).

Utilização no Concreto

“O concreto é um material resultante da aglomeração de agregados miúdos e graúdos, por uma pasta de cimento eventualmente contendo aditivos” (SOBRAL, 2000, p. 5). É o segundo produto mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água (TETRIS ENGENHARIA, 2023).

Santana (2019, p. 02) recomenda que a biomassa residual da ETA deve passar por um processo de beneficiamento para ser incorporada no concreto, tornando-o assim, um material fino, ou seja, um aditivo. Sendo o lodo *in natura*, inviável para ser utilizado devido suas propriedades mecânicas. Pois nesse aspecto contém quantidade significativa de matéria orgânica, além de componentes químicos presentes em seu meio, graças aos processos que a água passa para ser adequada ao consumo.

A NBR 6118: 2003 estabelece fck mínimo de 20 Mpa (ABNT, 2003). Ressalta-se que o Fck é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias de idade. Isso quer dizer que o concreto possui Fck de 20 MPa é o mesmo que possui resistência à compressão próxima

de 250 kfg/cm². Importante lembrar, que todo concreto deve estar dentro dos padrões desta norma técnica.

Outro fato é que, esse material pode ser incorporado como substituto parcial do agregado miúdo areia, ou como um aditivo fino. Segundo Santana (2019, p. 04):

É possível comprovar que o agregado miúdo leve produzido a partir de cinza de lodo tem densidade menor quando comparado com areia e as argamassas produzidas com lodo incinerado tem sua resistência à compressão aos 7 dias inferior, porém aos 28 dias todas as argamassas apresentam resistência muito semelhantes. Com estes resultados os autores afirmam que o agregado feito de resíduo pode ser uma alternativa tecnicamente viável.

Estes pesquisadores experimentaram utilizar o lodo de diferentes fontes em argamassas e concretos com adições nas frações que variam entre 5% a 50% em relação à massa de agregado miúdo, comparando valores obtidos com concreto constituído por agregados naturais sem adição de lodo.

Os resultados obtidos para a resistência à compressão de concretos com lodo de diferentes ETAs evidenciaram a não influência da variação do tipo de lodo na resistência mecânica dos traços estudados. Além disso, ratificou-se a proporção de 3% de adição de lodo em relação ao agregado miúdo como valor otimizado para a obtenção de melhores características (SANTANA, 2019, p. 05).

Em uma pesquisa realizada com Lodo de ETA, Hoppen (2004, p. 82) identificou que os concretos com 7 e 10% de lodo mostraram grande dificuldade de adensamento, mesmo com a utilização de vibradores com imersão, em virtude de sua elevada consistência (abatimento de 6 e 0 mm, respectivamente). Essa ainda afirma que nestes casos, houve a necessidade de adensamento em mesa vibratória por vários minutos. Comparando-se as tensões de ruptura ela identificou o seguinte:

Os traços contendo lodo com a do concreto referência observa-se que, mesmo aos 7 dias de idade, a resistência à compressão já atingiu valores acima de 20 MPa, exceto para a dosagem com 10% de lodo, a qual pode ser utilizada apenas para fins menos nobres com baixas resistências. Considerando apenas os valores de resistência mecânica obtidos, pode-se direcionar o uso das misturas incorporando até 5% de lodo, cujas resistências resultaram acima de 30 MPa, aos 28 dias, em aplicações de concreto convencional. No entanto, deve-se proceder a realização de outros ensaios mecânicos e de durabilidade.

Já em relação à tração por flexão, observa-se redução média de 27,38%, ocorrendo a maior redução para o traço com 8% de lodo (28,57%). Na comparação entre os dois CPs com o lodo, esta redução foi de 3,50% com o aumento do incremento de lodo. Hoppen et al. (2005, p. 92). No que tange a teor de absorção de água em função do teor de lodo:

Tanto a absorção quanto o índice de vazios apresentaram uma elevação drástica dos valores para teores de lodo acima de 5%, no que diz respeito às medidas realizadas após a saturação. Para as determinações após saturação e fervera dos CPs, este aumento ocorreu para teores acima de 3%. A explicação mais provável para este aumento abrupto de ambos os parâmetros vem do fato de que o lodo, ou passa a se comportar como uma “esponja” no interior do

concreto, fazendo com que a água penetre o material com maior facilidade, ou sofre dissolução pela imersão em água (HOPPEN, 2004, p. 84).

Conforme a Superintendência do Espaço Físico da Universidade de São Paulo, o valor característico mínimo da resistência do concreto admissível é $f_{ck} = 20$ MPa, cf. NBR 6118:2003. Para se chegar a essa medida os níveis percentuais desse lodo devem ser bem dosados. Na consideração do concreto não-estrutural os percentuais deste componente podem ser maiores. Isso nos remete a afirmar que quanto maior a concentração de lodo, menor a resistência do concreto.

É importante destacar, que esse método utilizado de beneficiamento da Biomassa de ETA, não é a única. Podendo variar de acordo com o pesquisador e seus recursos disponíveis. No que diz respeito à viabilidade econômica, admite-se que os métodos de secagem, moagem, calcinação e peneiramento conferem custos ao lodo de ETA. Contudo, esses processos são os mesmos utilizados na produção de metacaulim, produto amplamente comercializado (SANTOS et al. 2018, p. 11).

De acordo com os ensaios citados, os percentuais considerados eficazes para que os concretos com biomassa ETA atendem a necessidade da norma vigente para serem utilizados nas obras civis são de 3% a 5%, sendo o primeiro percentual o mais recomendado.

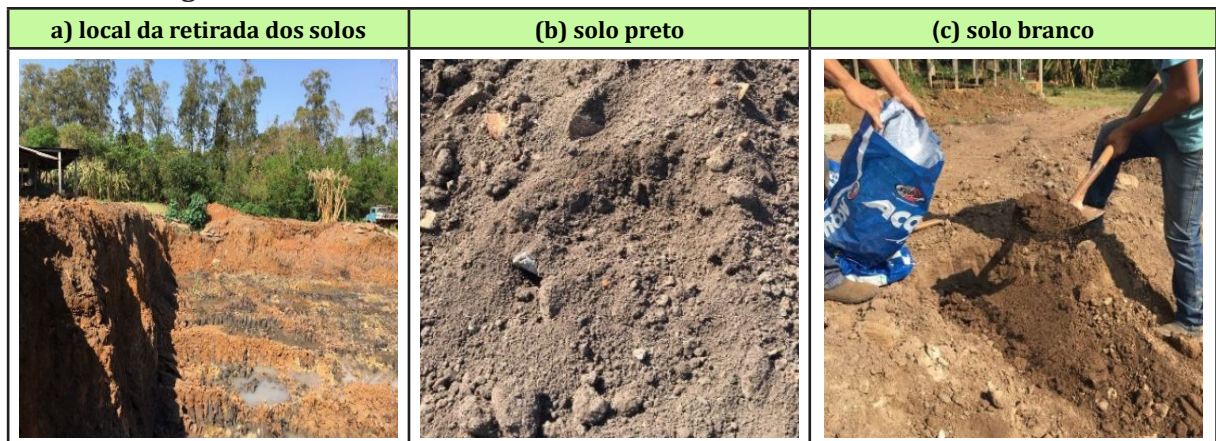
Utilização em Blocos e Tijolos Cerâmicos

Em suas pesquisas sobre possíveis destinações adequadas para o Lodo de ETA, Schneider et al. (2020), realizaram um estudo na Estação de Ortigueira-PR. Uma solução levantada para esse problema ambiental é o descarte do lodo de ETA em leitos de secagem. Esse lodo secará toda a umidade com a ação do calor solar, restando apenas o lodo seco. Com o lodo nesse estado, seu transporte para setores que possam utilizá-lo em seus meios de produção seria mais fácil, como as fábricas de tijolos cerâmicos. É importante ressaltar que a Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020, regulamenta sobre o transporte adequado dos resíduos sólidos para a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos, ademais o reaproveitamento deste, sendo um dos principais objetivos (BRASIL, 2020).

Embora o lodo possuía um grande potencial para incorporação em massa argilosa para a produção de cerâmica vermelha, recomenda-se uma utilização moderada da quantidade adicionada, pois este possui um elevado valor de limite plástico. Santana (2020, p. 91) e Schneider, et al. (2020, p. 7), alertam que essa aplicação é muito eficiente, pois além de preservar as águas dos rios, também diminui o impacto na extração de argila, onde muitas vezes vegetações são suprimidas para a sua extração.

Chalhoub et al. (2019) introduziu lodo de ETA na produção de tijolos cerâmicos. Sua pesquisa examinou a influência deste lodo nas propriedades físico-mecânicas dos tijolos, evidenciando melhorias significativas na resistência e na durabilidade. Foram coletados dois tipos de solos distintos (solo preto e solo branco) (Figura 5) na Olaria Bloco Cerâmico Itaipu, para a fabricação dos blocos cerâmicos.

Figura 5. Coleta do Solo



Fonte: CHALHOUB et al. (2019, p. 2).

Segundo Chalhoub et al. (2019), a coleta do lodo seguiu as especificações técnicas rigorosas, garantindo a qualidade do material para os ensaios e a produção dos blocos. A mistura de solo e lodo foi homogeneizada com a adição de água, seguindo uma metodologia para preparar a massa para moldagem. No Quadro 4 pode ser observado a composição do lodo proveniente da ETA (Unidade Tamanduá).

Quadro 4. Composição do Lodo de ETA

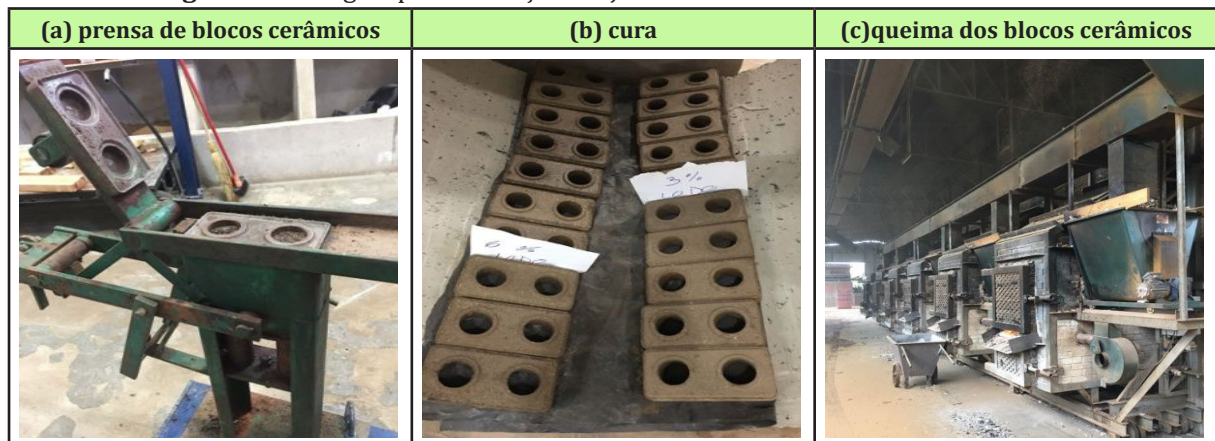
Componentes	Percentual (%)
Areia	36,8
Silte	38,45
Argila	24,75
Matéria Orgânica	56,5
Carbono	32,85

Fonte: CHALHOUB et al. (2019, p. 3).

Os blocos e ou tijolos cerâmicos são materiais de extrema importância para a construção civil, sendo um dos mais utilizados. Pois são esses os responsáveis pela vedação de paredes e divisão de ambientes.

Chalhoub et al. (2019) afirmam que a umidade ideal da massa para a moldagem dos tijolos foi determinada em 45% através de ensaios de limite de plasticidade. É importante destacar que nessa pesquisa, o percentual de lodo utilizado como substituição parcial na produção de blocos cerâmicos foi entre 3% a 12% (Figura 6). “Os métodos e ensaios seguiram as normas da ABNT, aderindo às especificações técnicas para a produção de tijolos cerâmicos de qualidade (CHALHOUB et al. 2019).” São essas a NBR: 7181:1986; NBR 6457:1980, NBR 6459:1984; NBR 7180:1984; NBR 6508:1984; NBR 15270:2005 e NBR 8492:1984.

Figura 6. Moldagem para Produção e Tijolos com Lodo



Fonte: CHALHOUB et al. (2019, p. 3).

Os trabalhos de Chalhoub et al. (2019) apontaram os seguintes resultados:

- Redução de absorção de água nos blocos com 3% de biomassa. Já nas demais porcentagens obtiveram uma maior absorção, em função da elevada porcentagem de argila no material.
- No que diz respeito a resistência a compressão, pode-se observar que todos os blocos com percentuais entre 3%, 6%, 9% e 12% não atenderam os parâmetros de um tijolo solo-cimento e sim de um tijolo cerâmico.
- Já em relação a retração dos blocos cerâmicos, observa-se que 6% de substituição do solo preto pelo lodo de ETA, a retração (evidenciada pela presença de fissuras no corpo de prova dentro do molde) teve um decréscimo, obtendo-se o menor valor de retração. Isto pode ser devido à relação com a retração linear, como resultado do aumento do grau de densificação da massa, pois o tijolo perde umidade com o aumento de temperatura, como também pela volatilização da matéria orgânica LIMA, Elisiane Santana de et al. (2020)

Nesse contexto, pode-se perceber que apenas os blocos com percentual entre 3% a 6% foram os que obtiveram características mecânicas apropriadas para serem utilizadas na construção civil, conforme a norma regulamentadora. Silva (2021) realizou estudos sobre a incorporação da biomassa de ETA de uma refinaria da Petrobrás em Paulínia - SP (ETA/ Replan) em massa argilosa para a fabricação de tijolos (Figuras 7 e 8). Importante ressaltar que a captação dessa água bruta para a localidade é realizada no rio Jaguari, em Paulínia / SP, por meio do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Consórcio PCJ).

<p>Figura 7. Vista -Taque de Armazenamento do Lodo</p>	<p>Figura 8. Vista - Lodo Desidratado</p>
	

Fonte: SILVA (2021, p. 28).

Segundo Silva (2021, p. 34) o material dos ensaios de classificação do lodo da ETA/ Replan foi amostrado e analisado por um laboratório externo de análises, o Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA), de acordo com os preceitos da NBR-10.007: 2004- Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004). Ele ainda aponta os ensaios que foram realizados, que são esses:

- Análise de lixiviados;
- Amostragem de efluentes gasosos;
- Análise de absorção de água;
- Análise de toxicidade;
- Análise de resistência à compressão.

De acordo com Silva (2021), a porcentagem do lodo de ETA foi de até 20% incorporado à massa cerâmica. Também é importante ressaltar que o combustível utilizado na Olaria Schiavolin para a queima do tijolo é a madeira de eucalipto. Em sua pesquisa sobre a incorporação da Biomassa da ETA teve como resultado:

Os ensaios tecnológicos de resistência mecânica mostraram que a incorporação do lodo da ETA/Replan em 20% na massa de argila da Olaria Schiavolin proporciona um aumento na resistência à compressão dos tijolos queimados passando essa resistência de 9,7 para 12,4 Mpa ou de 97,4 para 123,8 kgf/cm², ou seja, um aumento de 27% na resistência desses tijolos. Essa melhora na resistência dos tijolos queimados proporcionou também uma redução de quebras no processo de fabricação desses tijolos, passando de 10% para 1% de toda a produção da Olaria.

Utilização em Pavimentação

Segundo Delgado (2016), citado por Silva (2020, p. 8):

O pavimento é uma obra linear, sendo uma estrutura de múltiplas camadas assentes sobre uma fundação chamada subleito, a maioria das camadas são constituídas por materiais de origem natural, com características marcantes, variando de acordo com a qualidade do material do subleito. Segundo o autor, em um pavimento a estrutura está formada por camadas, colocadas sobre o subleito: a sub-base, a base e o revestimento, nominadas na ordem ascendente de posição vertical.

A pavimentação rodoviária no Brasil já foi objeto de estudos e práticas de construção desde longa data, quando experientes técnicos do então DNER formularam normas e procedimentos que se tornaram, com suas sucessivas atualizações, o estado da arte na Engenharia Rodoviária, Manual de Pavimentação DNIT (BRASIL, 2006, p.13).

Conforme Paiva (2017, p. 20), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

A biomassa advinda das Estações de tratamento de água também pode ser utilizada em pavimentação. Coelho et al. (2015, p.12) buscaram pela melhoria da qualidade e desempenho dos solos, misturando-os em outros tipos de materiais. Em seus estudos, o lodo utilizado foi obtido na estação de tratamento de água - ETA Cafezal, disponibilizado pela SANEPAR da cidade de Londrina/PR.

A estabilização dos solos é um método abundantemente utilizado, pois acarreta na alteração das propriedades e melhoria nas características quanto à aplicação na engenharia (COELHO, 2015, p. 12). Este pesquisador utilizou o cimento Portland como material estabilizante. Destaca-se assim, a inovação no uso de lodo de ETA desidratado como aditivo na mistura de solo-cimento, buscando não só estabilizar o solo, evitando assim sua deterioração na qualidade e durabilidade, mas também oferecer uma nova solução para a disposição do lodo.

A classificação dos solos, do ponto de vista da engenharia, é de poder definir o provável comportamento do solo ou, pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema (PAIVA, 2017, p. 14). Esta pesquisa utilizou o lodo da Estação de Tratamento de Água (ETA 006) localizada na rodovia TO-050 em Palmas, Tocantins.

Os solos devem ser identificados, para que assim se tenham informações precisas do seu tipo, e adotar os procedimentos adequados para trabalhar cada tipo de solo devido suas peculiaridades. Na Figura 9, as letras indicam o tipo principal de solo, e a segunda letra identifica dados complementares.

Figura 9. Terminologia do Sistema Unificado

G	pedregulho
S	Areia
M	Silte
C	argila
O	solo orgânico
W	bem graduado
P	mal graduado
H	alta compressibilidade
L	baixa compressibilidade
Pt	Turfas

Fonte: PINTO (2000) citado por PAIVA (2017, p. 15).

Para Pinto (2000) citado por Paiva (2017, p. 15), a classificação por este sistema é considerada a percentagem de solo fino presente na amostra, ao considerar os finos o material que passa na peneira de 0,075mm.

Existe um fator a ser considerado na elaboração de projetos para solos, nesse caso para a pavimentação, que a lixiviação, segundo definido pela ABNT (2004) a lixiviação pode ser entendida como o processo para determinar a capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas contidas em resíduos sólidos, por meio da sua dissolução no meio exterior.

No Brasil o Departamento Nacional de infraestruturas de transportes (DNIT) especifica que misturas do tipo solo-cimento devem apresentar valor mínimo de 2,1 Mpa para resistência à compressão aos 7 dias, quanto às especificações de ensaio, conforme Norma DNIT 143/2022) (BRASIL, 2022).

Para obter um melhor resultado, Paiva (2017) realizou os ensaios sobre o uso sobre o uso da Biomassa de ETA em pavimentações (Quadro 5).

Quadro 5. Normas Referentes aos ensaios

ENSAIO	NORMA ABNT
Limite Liquidez	DNER-ME 122/94
Limite de Plasticidade	DNER 084/95
Compactação	DNER 129/94
CBR	DNIT 172/2016 - ME
Granulometria	DNER-ME 080/94
Massa unitária	NBR NM 45/2006
Massa Específica	DNER-ME 194/98

Fonte: PAIVA (2017).

As análises realizadas por Delgado (2016) citado Santos et al. (2020, p. 12), para o lodo puro apresentam valores normais quanto aos elementos estudados no processo de lixiviação (Bário total, Cádmio total, Chumbo Total e Cromo total), porém os estudos de solubilização também mostram quantidades elevadas de Mn ($\approx 6,498\text{mg/l}$) e ainda para Ferro total ($\approx 0,632\text{mg/l}$) acima do estabelecido pela ABNT (2004) - 0,1mg/l para Mn e 0,3mg/l para Fe.

O lodo de ETA pode ser empregado junto com solo argiloso e solo arenoso na camada de subleito, bem como a mistura de solo arenoso com 10% de cimento, possui caráter apropriado para o uso em base de pavimentação, no qual foram testadas as misturas de dois solos de granulometrias diferentes (arenosos e argiloso) e lodo, nas proporções de 1:1 do solo argiloso + lodo com adição de 6 e 10% de cimento; e para o solo arenoso 1:0,25 sem adição de cimento (COELHO, et al. 2015; SILVA, 2020, p. 9).

Isso destaca a aplicabilidade e a versatilidade do lodo de ETA em diferentes contextos de pavimentação. Mostra como essa biomassa pode ser integrado com diferentes tipos de solos para melhorar as características de pavimentação, o que é fundamental para justificar o uso de materiais residuais na engenharia civil.

Os autores da pesquisa de Silva (2020) apontaram que a mistura do tipo solo argiloso + lodo com adição de cimento atingiu apenas 0,27 Mpa para resistência a compressão em 7 dias, a qual não atende os requisitos da norma para uso em base de pavimentação que é de 2,1 Mpa, conforme estabelece DNIT 143/2022.

Isso é importante pois nos traz as limitações do uso do lodo de ETA em misturas de pavimentação, especialmente em relação à resistência à compressão. Também serve como uma crítica a ser discutida e com mais pesquisas a serem realizadas sobre as condições sob as quais o lodo de ETA pode ou não ser viável, ressaltando a necessidade de ajustes nas proporções de mistura ou na escolha de solos para alcançar as normas estabelecidas.

Em suas pesquisas sobre o Lodo de ETA, Silva (2020, p. 10), realizou estudos para avaliar o uso do lodo em 5, 10 e 20% como agregado miúdo juntamente com areia, para o concreto convencionalmente aplicado na construção de calçadas (Cimento, areia e brita; 1:2,3).

Segundo Delgado (2016), outra maneira de aplicabilidade para o resíduo de ETA é o seu emprego na camada de sub-base de pavimentação rodoviária. A autora deteve seu

trabalho ao estudo do comportamento do lodo quando feitas as misturas com pó de pedra, solo arenoso e solo argiloso para as porcentagens de 5, 10 e 15% do resíduo. Os melhores resultados para as propriedades mecânicas estão no uso do pó de pedra + 5% de lodo sem a adição de estabilizantes, e quando empregado o maior valor para lodo (15%) essa mesma mistura obteve resultados satisfatórios com 2% de cimento na estabilização; demonstrando grande potência de uso para rodovias de baixo volume de tráfego (SILVA, 2020, p. 10).

O estudo mostra que em todas as misturas a resistência à compressão axial é superior a 15 Mpa, e os resultados para tração têm melhores valores com 10% de lodo sendo aplicado na mistura (SILVA, 2020, p. 10). Isso destaca os benefícios do uso do lodo de ETA como agregado miúdo em concretos, especialmente para aplicações não estruturais como calçadas e pavimentos. A reutilização de resíduos aplicados na engenharia civil, demonstra não apenas a viabilidade técnica, mas também potenciais melhorias nas propriedades do material.

Para estabilizar um solo é necessário dotá-lo de condições que resistam às deformações e a ruptura durante o período em que estiver em atividade. Isso deve ser feito para que possa resistir em boas condições de tráfego, pelo máximo tempo possível.

Os resultados sublinham a importância da integração de resíduos de ETA como parte das práticas de construção sustentável, destacando a necessidade de mais estudos e desenvolvimento tecnológico para ampliar sua aplicabilidade. Desafios como a variabilidade das propriedades do lodo e a necessidade de tratamentos específicos antes de sua aplicação em materiais de construção ainda requerem atenção, indicando um vasto campo para futuras pesquisas.

Considerações Finais

Este estudo evidenciou o potencial significativo da biomassa residual das Estações de Tratamento de Água (ETAs) como uma alternativa sustentável na construção civil. A utilização deste resíduo na fabricação de concreto, tijolos cerâmicos e em aplicações de pavimentação, demonstra não apenas a viabilidade técnica, mas também benefícios ambientais notáveis, contribuindo para a redução do descarte inadequado e a promoção de uma indústria da construção mais verde. No entanto, enfrenta desafios significativos, principalmente relacionados à regulamentação e à aceitação de mercado desses novos materiais.

A otimização dos processos de tratamento e mistura do lodo de ETA é essencial para atender aos padrões de segurança e desempenho estrutural exigidos. Além disso, os estudos indicam a necessidade de mais pesquisas sobre a durabilidade e o comportamento ambiental destes materiais, com o intuito de desenvolver diretrizes claras para sua produção e aplicação. A integração efetiva desses novos materiais na indústria requer avanços tecnológicos e mudanças nas políticas públicas e na percepção do mercado em relação ao uso de resíduos como recursos valiosos. Por fim, o reaproveitamento da biomassa residual de ETAs na construção civil representa uma oportunidade promissora para avançar em direção a práticas mais sustentáveis, alinhando-se com as demandas globais por desenvolvimento sustentável e conservação dos recursos naturais.

Isso porque um dos seus componentes é justamente o cimento, material indispensável e insubstituível para produção do concreto. Além disso, esse material ainda utiliza água em seu meio de produção. Esse fator ainda pode ser explicado pelo fato da maioria das construções utilizarem o concreto. Pois apesar da tecnologia que cerca esse amplo setor, esse material ainda é considerado o mais usual, por sua fácil aquisição e menos necessidade de mão de obra especializada. Outro fator importante, é a capacidade de ser feito *in loco*, podendo ser moldado conforme desejado.

A investigação sobre a utilização da biomassa residual de Estações de Tratamento

de Água (ETA) na construção civil demonstrou resultados promissores, destacando-se a viabilidade técnica de sua aplicação em diversos materiais de construção. Os resultados indicam que os percentuais de inclusão do resíduo variam conforme o tipo de aplicação, mantendo-se dentro de limites que garantem propriedades mecânicas aceitáveis e respeitam normas técnicas vigentes.

No concreto, a incorporação de lodo de ETA mostrou-se eficaz dentro da faixa de 3% a 5%. Essa inclusão contribui para a redução do uso de materiais convencionais e pode resultar em diminuição dos custos de produção, além de promover a reciclagem de resíduos.

A utilização do lodo para a produção de blocos de solo-cimento foi limitada a até 5%. Esta aplicação se apresenta como uma alternativa sustentável, reduzindo a extração de recursos naturais e minimizando o impacto ambiental das atividades de construção.

A flexibilidade na aplicação do lodo em tijolos cerâmicos varia significativamente, com uma faixa de 3% a 20%. Isso indica uma capacidade adaptável do lodo de ETA, dependendo das especificações e das exigências de qualidade dos tijolos produzidos.

O lodo de ETA foi aplicado em misturas de pavimentação numa proporção de 5% a 15%. A utilização nesta faixa proporciona uma estabilização efetiva do solo e melhora as características de durabilidade do pavimento, ao mesmo tempo que contribui para a gestão ambientalmente adequada de resíduos.

Referências

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004. Resíduos Sólidos - Classificação**. Segunda edição. 31.05.2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR%207215%20-.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181:1986 - Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/nbr-7181.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457:1980 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro. Disponível em: https://kupdf.net/download/nbr-6457-2016-preparo-de-amostras-de-solos-pdf_6427902ae2b6f5c843f675a6_pdf. Acesso em: 08 mai. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459:1984 - Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/NBR%206459%20-%20Solo%20-%20Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20Limite%20de%20Liquidez.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180:1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/nbr-7180-2016-solo-determinacao-do-limite-de-plasticidadepdf-3no755v7eyld>. Acesso em: 10 abr. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508:1984 - Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/>

NBR%206508%20-20Gr%C3%A3os%20de%20Solos%20que%20Passam%20na%20Peneira%20de%204,8mm%20-%20D.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270:2005 - Componentes cerâmicos - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação.** Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/nbr_15270_3_2005.pdf. Acesso em: 14 abr. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8492:1984 - Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.alroma.com.br/uploads/arquivos_documentos/NBR_8492_-_Norma_Tijolo_de_Solo_Cimento_-_Resist%C3%A2ncia_e_Absor%C3%A7%C3%A3o_-_Alroma.pdf. Acesso em: 18 abr. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10.007:2004 - Amostragem de resíduos - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.

ACEMAX. Acemax Serviços de Consultoria. **Lodo de Estação de Tratamento de Água.** São Paulo-SP, 28 setembro 2021. Disponível em: <https://acemax.com.br/lodo-de-eta/>. Acesso em: 11 Mar. 2024.

BARBOZA, Marcos R.; BASTOS, Paulo Sérgio. **Traços de concreto para obras de pequeno porte.** Bauru: UNESP, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, 2014. Disponível em: https://www.wp.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf. Acesso em: 15 abr. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto Nº 10.936 de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm. Acesso em: 31 mar. 2024.

BRASIL. DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigida_errata_1.pdf. Acesso em: 27 abr. 2024.

BRASIL. DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Pavimentação - Base de solo-cimento - Especificação de serviço. Norma DNIT 143/2022** - ES. Brasília, DF: DNIT, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_143_2022_es.pdf. Acesso em: 13 mai. 2024.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 30 Mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria Nº 280, de 29 de junho de 2020**. Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional. Diário Oficial da União: seção 1, nº 123, p. 95, 30 jun. 2020. Disponível em: <https://drywall.org.br/wp-content/uploads/2020/11/PORTARIA-N-280-DE-29-DE-JUNHO-DE-2020-ResiduosSolidos.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2024.

CHALHOUB, Ayda Samih et al. Incorporação do Lodo de ETA na Fabricação de Tijolos. In: **Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, 2., 2019, Foz do Iguaçu. 2º CONRESOL. Foz do Iguaçu: Ibeas - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019. v. 2, p. 1-6. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XII-048.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2024.

COELHO, Rodrigo Vaz et al. **Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água na Pavimentação Rodoviária**. Reec: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, [s. l.], v. 10, n.2, p. 11-22, 21 nov. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Heliana-Fontenele/publication/282350521_USO_DE_LODO_DE_ESTACAO_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA_NA_PAVIMENTACAO_RODOVIARIA/links/578d11c808ae7a588ef3dbe7/USO-DE-LODO-DE-ESTACAO-DE-TRATAMENTO-DE-AGUA-NA-PAVIMENTACAO-RODOVIARIA.pdf. Acesso em: 05 abr. 2024

FONTES, C. M. A. **Utilização das Cinzas de Lodo de Esgoto e de Resíduo Sólido Urbano em Concretos de Alto Desempenho**. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

HOPPEN, Cinthya. **Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na Construção Civil: Método Alternativo para Preservação Ambiental**. (2004). Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp134634.pdf>. Acesso em: 23 Mar. 2024.

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**. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/ce/a/3QSSw7mKWLjgvjQgqsW4smH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 Mar. 2024.

MARGEM, Jean Igor. **Caracterização e Incorporação de Lodo de Decantação de Estação de Tratamento de Água (E.T.A.) em Cerâmica Vermelha**. (2008). Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR_doc.pdf. Acesso em: 13 Mar. 2024.

BDT@. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais. **Módulo de Saneamento Ambiental**. Disponível em Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~bdta/modulos/saneamento/lodo/lodo.htm>. Acesso em: 31 Mar. 2024.

PAIVA, Pollyanna Zenaide. **Estudo da Utilização do Lodo de ETA como Material Alternativo na Estabilização de Solo para Pavimentação**. 2017. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia, Ceulp Ulbra, Palmas/To, 2017. Acesso em: 10 mai. 2024.

SANTANA, Ismael Vânio Agostinho et al. Estudo sobre a Viabilidade Técnica da Utilização do Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como Insumo na Construção Civil. **Brazilian Journal of Development**. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7250/6300>. Acesso em: 22 Mar. 2024.

SANTANA DE LIMA, Elisiane et al. Secagem de tijolos cerâmicos industriais e estimativa de parâmetros do processo: uma abordagem concentrada avançada. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e48391211391, 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/11391-Article-152354-1-10-20201231.pdf>. Acesso em: 30 Mar. 2024.

SANTOS, Gessica Zila Batista dos Santos et al. **Perspectivas de Aplicações Tecnológicas de Lodo Gerado no Processo de Tratamento de Água dos Rios Negro e Solimões**. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/G537YjR7w7chV3zHdvJQDQc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 Mar. 2024.

SCHNEIDER, Everton Campos et al. **Utilização de Lodo de ETA na Fabricação de Tijolos Cerâmicos a Fim de Preservar Mananciais: O Caso de Ortigueira - PR**. 2020. 13 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia, Centro Universitário Internacional Uninter, Ortigueira-Pr, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/670/SCHNEIDER%2C%20Everton%20Campos.pdf?sequence=1#:~:text=>. Acesso em: 07 abr. 2024.

SEPÚLVEDA, Alejandro. **A população mundial está aumentando: dobrou em meio século!**. tempo.com meteoed. 2021. Disponível em <<https://www.tempo.com/noticias/ciencia/a-populacao-mundial-esta-disparando-dobrou-em-meio-seculo.html>>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SECOVI. Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação ou Administração de Imóveis Residenciais ou Comerciais. **ABNT publica primeira norma técnica brasileira sobre cidades sustentáveis**. 2017. Disponível em: <https://secovi.com.br/abnt-publica-primeira-norma-tecnica-brasileira-sobre-cidades-sustentaveis/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SCHNEIDER, Everton Campos; DIAS, Mariana Andreotti. **Utilização de lodo de ETA na fabricação de tijolos cerâmicos, a fim de preservar mananciais: o caso de Ortigueira - PR**. Ortigueira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/670/SCHNEIDER%2C%20Everton%20Campos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SILVA, Ana Millene dos Santos et al. **Uso Alternativo de Lodo de Estação de Tratamento de Água em Pavimentação: Uma Revisão**. 2020. Disponível em: file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/Uso_alternativo_de_lodo_de_estacao_de_tratamento_d.pdf. Acesso em: 07 abr. 2024.

SILVEIRA, Ana Christina Horner. **Caracterização dos resíduos gerados em estação de tratamento de água de dupla filtração com o uso de polímeros**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Meu%20Note/Downloads/Ana%20Christina%20Horner%20Silveira%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do concreto fresco**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 32 p. (Estudo Técnico ET-15). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3089801/mod_resource/content/0/ET15.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

TETRIS ENGENHARIA. **O concreto é o segundo material mais consumido no mundo**. Curitiba-PR. 19, julho, 2018. Disponível em: <https://www.tetrisej.com.br/single-post/concreto>. Acesso em: 11.mai. 2024.

Recebido em 6 de dezembro de 2024.

Aceito em 16 de dezembro de 2024.