

# Utilização de Lodo de ETEs para Fabricação de Argamassa

## Use of Sludge from STPs for Mortar Manufacturing

João Victor Barbosa de Saldanha da Gama<sup>1</sup>; Luciana Pinheiro de Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Veiga de Almeida (j.saldanhadagama@gmail.com)

<sup>2</sup> Professores da UVA do Curso de Graduação de Engenharia Civil (lpinheiro@uva.br)

### *Resumo*

A presente pesquisa teve como objeto de estudo resíduo sólido produzido pelo processo de tratamento do efluente líquido urbano, conhecido como lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE), e se é possível utilizá-lo como insumo na construção civil. Logo esse estudo tem o objetivo de realizar uma análise de viabilidade técnica para substituição de agregados para fabricação de argamassa, utilizada na construção civil, por Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (LETE). Para alcançar os objetivos foi necessário o estudo das características físico-químicas do lodo e posteriormente ensaios laboratoriais. Como resultados foi possível identificar que as características do lodo permitem ele ser usado como agregado miúdo na argamassa cimentícia, em pequenas quantidades, substituindo a areia em até 7,5 % da massa total, e até essa marca apesar de apresentar uma maleabilidade reduzida, há um aumento de resistência a compressão normal.

**Palavras-chave:** *Construção Civil, Reutilização de Resíduos, Lodo de Esgoto, Argamassa.*

### *Abstract*

The present research had as object of study solid waste produced by the urban liquid effluent treatment process, known as sewage treatment plant (STP) sludge, and if it is possible to use it as an input in civil construction. Therefore, this study aims to carry out a technical feasibility analysis for the replacement of aggregates for the manufacture of mortar, used in civil construction, by Sludge from a Sewage Treatment Plant (SSTP). To achieve the objectives, it was necessary to study the physicochemical characteristics of the sludge and later laboratory tests. As a result, it was possible to identify that the characteristics of the sludge allow it to be used as a fine aggregate in cement mortar, in small amounts, replacing sand in up to 7.5% of the total mass, and even this brand despite having a reduced malleability, there is an increase in normal compressive strength.

**Keywords:** *Civil Construction, Waste Reuse, Sewage Sludge, Mortar.*

## 1 Introdução

A geração de resíduos acompanha todas as atividades realizadas pelo ser humano, sendo uma parte indissociável de todas as ações de produção ou manutenção na nossa sociedade. Como explicado por Canejo (2021), em nenhum momento é possível ocorrer geração zero de resíduos, mesmo com esforço coletivo global, é irreal a interrupção da geração constante de resíduos.

No atual cenário o Brasil, segundo o PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021, realizado pela Abrelpe (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública), produziu, no ano de 2020, mais de 82 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU). E destinou adequadamente, segundo o previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cerca de 45,8 milhões de toneladas.

Outro tipo de resíduo sólido, conforme estabelecido pela PNRS, são os resíduos dos serviços públicos de saneamento básico (RSB), e sua geração é intrínseca ao serviço das Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) e na drenagem e manejo das águas pluviais.

Segundo estimativas do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), no Brasil foram gerados 81,3 milhões de toneladas de RSB no ano de 2015, sendo 97% desse valor referente ao lodo de ETA e os 3% restantes ao lodo de ETE. Essa disparidade na quantidade de resíduos gerados se dá, segundo explicação do SNIS, pela cobertura dos respectivos sistemas, onde, no ano de 2015, o atendimento das áreas urbanas com abastecimento de água foi de 93,1%, o de esgotamento sanitário, por outro lado, só compreendeu 58%.

No Brasil o principal tipo de disposição final ambientalmente adequada, para os resíduos sólidos não perigosos, são os aterros sanitários, que possuem normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos, de acordo com o art. 3º, VII, da lei 12.305/10. Contudo, segundo o Cadastro Nacional de Unidades de Processamento do SNIS, no Brasil em 2019 havia somente 621 aterros sanitários, contra 1114 lixões, o que causa um déficit na disposição final adequada de resíduos no Brasil. Como é evidenciado no PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021, que mostra que cerca de 60% do RSU coletado teve destinação adequada.

Com essa situação, esse estudo tem o objetivo de analisar a viabilidade da aplicação de resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, mais especificamente resíduos de estações de tratamento de

---

esgoto (ETE), também denominada de lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE), na construção civil.

O LETE é, segundo a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), “a biomassa microbiana que decanta durante o processo de tratamento do esgoto bruto, no qual os microrganismos decompositores e a própria matéria orgânica digerida do esgoto se acumulam no fundo dos tanques”. Composto assim a parte sólida do efluente tratado nas estações, sendo extremamente rico em matéria orgânica.

Contudo, apesar da deposição em aterros sanitários ser adequada, ela ainda apresenta problemas ambientais e sociais, caso não operado de maneira adequada, como descrito no estudo de caso de SILVA CORRÊA e VASCONCELOS JUNIOR (2017). Um aterro sanitário operado inadequadamente pode ser um abrigo de transmissores de doenças, como ratos e moscas; liberar gases, provenientes da decomposição de matéria orgânica, na atmosfera; poluir o solo e o lençol freático, com a infiltração de chorume; além do fato de que aterros não são empreendimentos eternos, eles possuem vida útil, que está diretamente ligada ao seu tamanho e volume de resíduos que o mesmo pode comportar, e quando o seu ciclo de vida se esgota ele é fechado e é necessário a abertura de um outro aterro para a disposição de resíduos.

Olhar para a construção civil como uma geradora de problemas e de soluções é significativo para esse tipo de estudo. A construção civil no Brasil, em 2017, representou 6,2% do PIB nacional e sendo responsável por 34% do total da indústria brasileira, segundo a Federação das Indústrias do Distrito Federal (Fibra). Por seu tamanho e importância ela também demanda uma grande quantidade de insumos para o seu funcionamento, como matérias-primas e energia elétrica, gerando uma enorme pegada de carbono e impacto ambiental.

Em vista de buscar soluções mais ambientalmente amigáveis, esse estudo examinará a viabilidade da incorporação de LETE na construção civil, através da argamassa cimentícia, analisando se a mesma apresenta propriedades que possibilitam sua utilização. Existem estudos similares que apontam a viabilidade dessa prática, como APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO E CONCHA DE LILIU (*Anomalocardia brasiliana*) EM ARGAMASSA, por Souto (2016) e ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CINZA DE LODO DE ESGOTO COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND, por Costa 2014.

## **2 Justificativa**

Uma das metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), é a “redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada”. Algo que a pesquisa realizada pode colaborar, permitindo a reintrodução do Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (LETE) na cadeia produtiva, como insumo e com um valor próprio, ou seja, reciclando esse resíduo.

Para visualizar melhor a relevância da absorção desse material, que caso o contrário só seria depositado em um aterro sanitário, analisamos os dados de atividade da concessionária Prólogos, que é empresa da Aegea Saneamento, e a concessionária responsável pelos serviços de saneamento básico em cinco municípios da Região dos Lagos (Cabo Frio, Armação dos Búzios, Iguaba Grande, Arraial do Cabo e São Pedro da Aldeia) no estado do Rio de Janeiro.

Para tratar o esgoto desses cinco municípios a Prolagos conta com sete ETEs na região, tendo a capacidade para tratar 97 milhões de litros de esgoto por dia. Com essa quantidade de efluente sendo tratado temos uma grande quantidade de LETE sendo produzida diariamente, o que demanda um gasto, por parte da empresa, para garantir que o lodo seja seguro para a saúde humana e para a deposição no aterro sanitário, além de pagar ao aterro para sua deposição final e pelo seu transporte. E analisando o setor da construção civil, temos uma indústria altamente poluidora e danosa ao meio ambiente. Pois, quando analisamos o seu consumo de matérias primas, segundo Gasques et al. (2014), ele pode ir de 40% a 75% da produção total, dependendo da parte do mundo. E com esse grande consumo temos uma grande geração de resíduos, no Brasil, no ano de 2020, foram coletados 47 milhões de toneladas de RCD, segundo PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021, realizado pela Abrelpe.

Diante desse cenário identifica-se dois setores que são grandes geradores de resíduos, e possivelmente, geradores de danos ao meio ambiente. Porém, há um crescente empenho, tanto acadêmico quanto industrial, de utilizar a construção civil para absorver o resíduo gerado por ETEs.

## **3 Objetivo Geral**

Analisar a viabilidade da utilização do lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE), na confecção de argamassa cimentícia.

### 3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar uma revisão bibliométrica sobre o LETE;
- Caracterizar físico-quimicamente o LETE;
- Confeccionar traços de argamassa cimentícia com diferentes teores de LETE;
- Testar as propriedades das argamassas confeccionadas;
- Analisar os resultados obtidos.

## 4 Metodologia

Para essa aplicação na construção civil, o LETE precisou ser caracterizado, para que fosse identificado suas características físico-químicas, e aplicado como insumo de algum material utilizado em um empreendimento de construção. O material escolhido para captar o LETE foi a argamassa cimentícia, para aplicação como revestimento, que foi testada quanto ao seu desempenho. O lodo analisado e utilizado para a realização desse estudo foi fornecido pela empresa Prolagos, concessionária responsável pelos serviços de saneamento básico da Região dos Lagos, no Rio de Janeiro. O lodo é retirado da Estação de Tratamento de Esgoto de Iguaba Grande, que apresenta sistema de Coleta em Tempo Seco (CTS), ou seja, utiliza de redes coletoras (cinturões) para coletar o efluente presente na galeria da rede pluvial, impedindo que seja despejado no meio ambiente, e o encaminhado para a estação, para seu devido tratamento.

Com o lodo coletado em sacos plásticos e transportado para o laboratório, a primeira etapa foi realizar as análises físico-químicas do lodo, para identificar suas características, e possíveis peculiaridades. E como etapa seguinte, partimos para a confecção dos traços de argamassa cimentícia e os testes para identificar as propriedades da argamassa produzida.

### 4.1 Revisão Bibliométrica

Para levantar mais informações sobre o objeto de pesquisa, o lodo de ETE, foi realizada uma bibliometria ou revisão bibliométrica que, segundo Alvarado (1984), é “a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos a livros e outros meios de comunicação escrita”, e com essa metodologia é possível analisar autores e fases mais produtivos, bem como, investigar instituições geradoras, assim como os canais de comunicação mais utilizados na disseminação dos trabalhos.

---

Na realização dessa pesquisa bibliométrica foi utilizada como base a metodologia descrita por Costa (2010), no artigo “Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação”. Com esse embasamento é esperado atingir informações e resultados semelhantes, sendo adaptados para o tema, a fonte dos materiais, e as características da pesquisa realizada.

A fonte de obtenção de materiais acadêmicos escolhida foi a biblioteca digital SciELO (Scientific Electronic Library Online) como fonte do material a ser estudado, e a busca ocorreu no mês de novembro de 2021. A escolha dessa plataforma se dá pela acessibilidade proporcionada pela mesma, sendo uma das primeiras plataformas a ser visitada para a realização de pesquisas acadêmicas, logo possuindo grande quantidade de acessos e alcance. Porém deve-se levar em conta que a bibliometria utilizando somente a SciELO nos limita a analisar somente aos conteúdos anexados ao seu acervo.

Contudo, as fontes e materiais utilizados na totalidade dessa pesquisa não se limitaram aos encontrados na plataforma SciELO, esses serviram de base para compreender o assunto de uma maneira mais ampla.

A revisão bibliométrica também abrange trabalhos científicos sobre o lodo de ETA (Estação de Tratamento de Água), mesmo o material utilizado na pesquisa sendo o lodo de ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), pois expande os resultados encontrados e melhora o embasamento da pesquisa, uma vez que ambos os resíduos têm similaridades, como serem resíduos dos serviços públicos de saneamento básico (RSB).

O início da revisão bibliométrica é na “*home page*” da SciELO, selecionando “*ADVANCED SEARCH*” e na página direcionada começa a seleção dos materiais acadêmicos. Como o assunto desejado são materiais sobre Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto e Lodo de Estação de Tratamento de Água, são inseridas as palavras-chaves: ““wastewater sludge” OR “water sludge””, dessa forma a busca retornará materiais que contenham somente uma das duas palavras-chaves, ou as duas palavras presentes simultaneamente.

Essa pesquisa resulta em 572 resultados, distribuídos em várias formas de documentos, então são usadas as ferramentas disponíveis pela SciELO para refinar a busca e reduzir os resultados para materiais mais significativos para a pesquisa. As ferramentas em questão são uma série de filtros que direcionam a pesquisa reduzindo e focando os resultados encontrados, para que seja apresentado somente o mais proveitoso para a pesquisa. Os filtros providos pela plataforma SciELO são apresentados a seguir, junto de como o autor os utilizou para produzir as informações desejadas:

- “Tipo de literatura”: Selecionando a opção “Artigo”;

- “Coleções”: Seleccionada a opção “Brasil”;
- “Citáveis e não citáveis”: Seleccionada a opção “Citável”;
- “Idioma”: Seleccionada a opção “Todos”;
- “WoS Índice de Citações”: Seleccionada a opção “Todos”;
- “WoS Áreas Temáticas”: Seleccionada a opção “Todos”;
- “SciELO Áreas Temáticas”: Seleccionada a opção “Todos”;
- “Periódico”: Seleccionada a opção “Todos”.

E por fim, foi selecionado no filtro de “Ano de publicação” todos os anos que apresentavam resultados na pesquisa, dessa forma quantificando a produção de material em seus respectivos anos. Também foi catalogado os autores dos materiais obtidos através da busca na plataforma, nesse quesito autoria e coautoria foi tratada da mesma forma. Os autores então foram agrupados para identificar os que possuem maior produção de material relevante a pesquisa realizada.

Na pesquisa realizada foi encontrado que o tipo predominante de material indexado na plataforma SciELO, com esses temas, é o Artigo científico, contendo 555 publicações, de 572 totais. Dos artigos encontrados 341 pertencem a coleção “Brasil” presente na plataforma. Esse número permanece inalterado quando os seguintes filtros são ativados: “Citáveis e não citáveis” e “Idioma”. A quantidade de resultados então diminui quando o filtro “WoS Índice de Citações” é ativando, retornando 242 resultados, que permanecem inalterados mesmo com a ativação dos demais filtros descritos na metodologia.

A tabela 01 apresenta os periódicos com a maior quantidade de artigos publicados sobre os temas, foram ressaltados apenas os periódicos onde foram publicados três ou mais artigos.

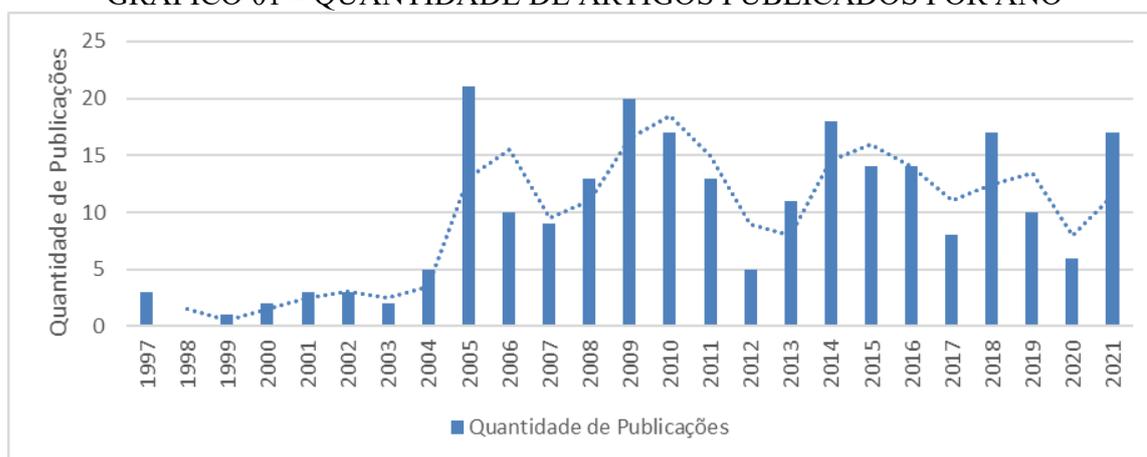
**TABELA 01 – PERIÓDICOS COM GRANDE QUANTIDADE DE ARTIGOS PUBLICADOS**

| <b>Título do periódico</b>                   | <b>Número de artigos</b> |
|--|--------------------------|
| Engenharia Sanitaria e Ambiental             | 71                       |
| Brazilian Journal of Chemical Engineering    | 28                       |
| Revista Brasileira de Ciência do Solo        | 26                       |
| Engenharia Agrícola                          | 25                       |
| Química Nova                                 | 16                       |
| Brazilian Archives of Biology and Technology | 12                       |
| Scientia Agricola                            | 11                       |
| Ciência e Agrotecnologia                     | 8                        |
| Brazilian Journal of Microbiology            | 6                        |
| Journal of the Brazilian Chemical Society    | 6                        |

FONTE: O autor

O gráfico 01 apresenta a cronologia de produção dos artigos presentes na plataforma SciELO, sendo possível analisar o desenvolvimento de artigos a respeito desses temas. Com os mais antigos encontrados serem datados de 1997, sendo apenas 3, e é possível identificar picos de produção nos anos de 2005; 2009; 2014; 2018 e finalmente 2021.

GRÁFICO 01 – QUANTIDADE DE ARTIGOS PUBLICADOS POR ANO



FONTE: O autor

A tabela 02 temos a análise dos autores mais presentes na produção dos artigos indexados na SciELO, ao longo dos anos. Foram levados em conta somente os autores com três ou mais artigos publicados, e tratando da mesma forma autoria e coautoria.

TABELA 02 – AUTORES COM MAIOR CONTRIBUIÇÃO NA PRODUÇÃO DE ARTIGOS

| <b>Autores</b>                       | <b>Quantidade de Artigos Publicados</b> |
|--------------------------------------|---|
| Oliveira, Roberto A. de.             | 13                                      |
| Campos, Cláudio Milton Montenegro    | 5                                       |
| Andrade, Cristiano Alberto de        | 4                                       |
| Berton, Ronaldo Severiano            | 4                                       |
| Corrêa, Rodrigo Studart              | 4                                       |
| Costa, Rejane Helena Ribeiro da.     | 4                                       |
| Ferreira Filho, Sidney Seckler       | 4                                       |
| Maria, Isabella Clerici de           | 4                                       |
| Achon, Cali Laguna                   | 3                                       |
| Botelho, Cláudio Gouvêa              | 3                                       |
| Camargo, Otávio Antonio de           | 3                                       |
| Campos, Claudio Milton Montenegro    | 3                                       |
| Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos | 3                                       |
| Costa, R. H. R.                      | 3                                       |
| Duda, Rose Maria                     | 3                                       |
| Fia, Ronaldo                         | 3                                       |
| Giordano, Gandhi.                    | 3                                       |
| Haandel, Adrianus Cornelius Van      | 3                                       |
| Kligerman, Débora C.                 | 3                                       |
| Melo, Wanderley José de              | 3                                       |
| Oliveira, Jaime L. M.                | 3                                       |
| Pereira, E. L.                       | 3                                       |

---

|                        |   |
|------------------------|---|
| Wolff, Delmira Beatriz | 3 |
| Zaiat, M.              | 3 |

---

FONTE: O autor

## 4.2 Análise físico-químicas

No laboratório a primeira etapa a ser realizada foi a caracterização do lodo coletado, analisando suas características físico-químicas de maneira a identificar elementos presentes na amostra, que irão influenciar em suas características, bem como nos seus possíveis usos e aplicações. As análises realizadas foram: Granulometria; Teor de Umidade; Teor Matéria Orgânica; Fosfato ( $PO_4$ ); Potássio (K), Alumínio (Al); Cálcio + Magnésio (Ca + Mg); Nitrogênio Mineral, que é formado por Nitrito ( $NO_2^-$ ), Nitrato ( $NO_3^-$ ) e Amônia Indotest ( $NH_3$ ); Teor de Íons de Ferro III ( $Fe^{3+}$ ) e pH.

### 4.2.1 Análises utilizando o Alfakit

Para a maioria das análises químicas realizadas com o lodo, foi utilizado o kit de análise de solos, desenvolvido e fornecido pela empresa Alfakit, junto com os materiais, tanto equipamento quanto reagentes, necessário para realizar os ensaios.

Os ensaios realizados utilizando esse método foram os de: Fosfato ( $PO_4$ ); Potássio (K), Alumínio (Al); Cálcio + Magnésio (Ca + Mg); Nitrogênio Mineral; Nitrito ( $NO_2^-$ ), Nitrato ( $NO_3^-$ ) e Amônia Indotest ( $NH_3$ ).

Para a realização dessas análises, o lodo deveria ser preparado, segundo o instruído pelo kit de solos. A preparação consistia em levar a amostra de material, previamente pesada, entre 40g a 50 g de material, a estufa, pré-aquecida, a uma temperatura constante de 40/50°C. A massa da amostra foi checada periodicamente, de modo a garantir que sua massa tenha se estabilizado, o que significa que a amostra já tenha perdido toda a sua umidade.

#### 4.2.1.1 Teor Matéria Orgânica

Para identificar a quantidade de matérias orgânica presente nas amostras retiradas do Lodo.

Nesta análise utilizamos a cartela da Alfakit e os seus reagentes para realizar o procedimento.

1 – O primeiro passo é com o auxílio de uma seringa plástica de 10 mL, medir 8 mL de água desionizada para um tubo de vidro.

2 – Em seguida, com uma seringa medir 2 mL do reagente de cor e transferi-lo para o tubo de vidro.

3 – Com a balança analítica, pesamos 0.1 grama do lodo previamente seco e o despejamos no tubo de vidro.

4 – Agitamos o tubo por aproximadamente 2 minutos e em seguida o deixamos sedimentando novamente por 2 minutos.

5 – Para obter o resultado utilizamos uma comparação visual do resultado obtido no tubo de vidro e o valor na cartela da Alfakit.

6 – Na análise do resultado multiplicamos o resultado obtido por 10, pois fizemos uma redução da quantidade de amostra devido aos altos teores de matéria orgânica presente.

#### **4.2.1.2 Procedimento de Extração para Fosfato e Potássio**

Para realizar a determinação de Fosfato e Potássio presente no solo, devemos realizar um procedimento de extração que nos fornecerá um filtrado para prosseguir com ambas as análises.

1 – Em uma cubeta de 30 mL, adiciona-se 20 mL da Solução Extratora 3.

2 – Medir, aproximadamente, 2 mL da amostra previamente seca e transferi-la para a cubeta com o reagente.

3 – Fechar o frasco e agitá-lo por 5 minutos.

4 – Deixar o material em repouso até que ele esteja completamente sedimentado.

5 – Por último filtrar a solução com o papel filtro e reservar para análise.

#### **4.2.1.3 Fosfato (PO<sub>4</sub>)**

Para determinar a quantidade de Fosfato disponível no lodo, de acordo com a cartela da Alfakit, devemos seguir o seguinte procedimento:

1 – Em uma cubeta pequena (10 mL) deve-se transferir 5 mL do filtrado.

2 – Adicionar 5 gotas do Reagente 1 e agitar.

3 – Em seguida, adicionar 1 medida do Reagente 2 e agitando novamente.

4 – Aguardar 10 minutos e após este tempo abrir a cubeta e posicioná-la sobre a cartela e fazer a comparação da cor.

O resultado lido na cartela é expresso em mg/kg PO<sub>4</sub>.

#### 4.2.1.4 Potássio (K)

Para determinar a quantidade de Potássio no lodo, utilizamos a metodologia da Alfakit, onde:

- 1 – Mede-se 1 mL do filtrado, previamente preparado, com uma seringa e transfere-se o líquido para a cubeta pequena.
- 2 – Em seguida, adiciona-se 3 gotas do Reagente 1 e agite até homogeneizar a solução.
- 3 – Após a homogeneização da solução, adiciona-se 4 gotas do Reagente 2 e agite-o por 2 minutos.
- 4 – Após os 2 minutos, adiciona-se 20 gotas do Reagente 1 e agite-o novamente.
- 5 – Por fim, deve-se adicionar 3,6 mL de água desionizada e agitar durante 5 minutos, invertendo a cubeta e evitando a formação de bolhas.
- 6 – Para analisar o resultado coloca-se a cubeta sobre a cartela, abrindo a tampa e posicionando a cartela sobre o fundo preto até encontrar a cor coincidente.

O resultado é lido na cartela em: mg/kg K

Obs: Caso o filtrado apresente turbidez, deverá ser feita uma nova filtração.

#### 4.2.1.5 Procedimento de Extração para Alumínio, Cálcio e Magnésio e Nitrogênio Mineral

Para realizar a determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio e Nitrogênio Mineral presente no lodo, devemos realizar um procedimento de extração que nos fornecerá um sobrenadante para prosseguir com as análises.

- 1 – Em um frasco de vidro com tampa, deve-se transferir 5 mL de amostra de lodo.
- 2 – Em seguida, adiciona-se 35 mL de água destilada.
- 3 – A próxima etapa é adicionar 15 mL de Solução Extratora 2, após isso, fecha o vidro e agite-o durante 5 minutos.
- 4 – Deve-se deixar a solução em repouso por 12 horas para decantar. Após este tempo, deve-se filtrar o sobrenadante, evitando ao máximo deslocar o frasco para evitar turvar.

#### 4.2.1.6 Alumínio (Al)

Para determinar a quantidade de Alumínio no lodo, utilizamos a metodologia da Alfakit, onde:

- 1 – Em uma cubeta grande (30 mL) transfere-se o sobrenadante até a marcação da mesma.
- 2 – Adicionando 3 gotas do reagente de Alumínio Solo 1 e agitá-lo em movimentos circulares para homogeneizar a amostra.

3 – Utilizando a seringa de Alumínio, acertar o êmbolo na escala zero, gotear com o Reagente de Solo 2, agitando em movimentos circulares a cada gota adicionada até a mudança da coloração para azul, anotando o volume gasto.

O resultado é lido na cartela da seguinte forma:  $Al^{(3+)}$  (Cmol/kg).

#### **4.2.1.7 Cálcio + Magnésio (Ca + Mg)**

Acompanhando o padrão das outras análises, utilizamos a cartela da Alfakit como parâmetro.

1 – Em uma cubeta de 30 mL, verter o sobrenadante até a marca de 10 mL.

2 – Em seguida, adicionar 16 gotas do Inibidor de Interferentes Solo e agitá-lo em movimentos circulares.

3 – Após a homogeneização, adicionar 4 gotas de Dureza 1 e agitar novamente.

4 – Com o auxílio de uma pazinha nº 1 adicionar 1 medida de Dureza 2 e agitar até dissolver todo o reagente.

5 – Em uma seringa de Ca + Mg, adicionar a Solução para Ca + Mg, acertando o êmbolo na escala zero.

6 – Gotear a solução e agitar a cada gota adicionada até observar a alteração da coloração de vinho ou rosa para azul puro. Anotando o volume gasto.

O resultado é lido na forma de: Cálcio + Magnésio (Cmol/Kg). Onde, Cmol/Kg= mg/Kg.

#### **4.2.1.8 Nitrogênio Mineral**

Devido a sua grande variação do número de oxidação (-3 até +5) ele apresenta uma grande variedade de combinações, além de apresentar trocas constantes e elevada solubilidade das formas inorgânicas, principalmente nas formas nítricas ( $NO_2$ ,  $NO_3$  e  $NH_3$ ). Sendo assim, utilizamos desta forma inorgânica de Nitrito, Nitrato e Amônia disponível para determinar a disponibilidade de Nitrogênio Mineral disponível.

#### **4.2.1.9 Nitrito ( $NO_2^-$ )**

Para determinar a quantidade de Nitrito no lodo, utilizamos a metodologia da Alfakit, onde:

1 – Primeiramente deve-se transferir 5 mL da solução filtrada para uma cubeta de 10 mL.

- 
- 2 – Em seguida, adiciona-se 1 medida de Reagente 1 e agite-o vigorosamente por um período de 2 minutos.
  - 3 – Após a homogeneização da solução, adiciona-se 1 medida do Reagente 2 e agita até dissolver o reagente.
  - 4 – Então, pingue 2 gotas do Reagente 3, agitando novamente e aguarde 15 minutos.
  - 5 – Após os 15 minutos, posicione a cubeta sobre a cartela e realize a comparação da cor
- Na qual o resultado lido na cartela é em  $\text{mg.L}^{-1}$  N-NO<sub>2</sub>.

#### 4.2.1.10 Nitrato (NO<sub>3</sub>-)

Para determinar a quantidade de Nitrato no lodo, utilizamos a metodologia da Alfakit, onde:

- 1 – Primeiramente deve-se transferir 5 mL da solução filtrada para uma cubeta de 10 mL.
- 2 – Em seguida, adiciona-se 1 medida de Reagente 1 e agite-o vigorosamente por um período de minutos.
- 3 – Após a homogeneização da solução, adiciona-se 1 medida do Reagente 2 e agita até dissolver o reagente.
- 4 – Então, pingue 2 gotas do Reagente 3, agitando novamente e aguarde 15 minutos.
- 5 – Após os 15 minutos, posicione a cubeta sobre a cartela e realize a comparação da cor.

Obs: Caso a amostra conter Nitrito, realizar o seguinte procedimento:

$$\text{mg.L}^{-1} \text{N} - \text{N} - \text{NO}_3 = (\text{N} - \text{NO}_3) - (\text{N} - \text{NO}_2)$$

Onde:

N-NO<sub>3</sub> = Resultado lido na cartela de Nitrato.

N-NO<sub>2</sub> = Resultado de Nitrito.

#### 4.2.1.11 Amônia Indotest (NH<sub>3</sub>)

Para determinar a quantidade de Amônia no lodo, utilizamos a metodologia da Alfakit, onde:

- 1 – Em uma cubeta de 10 mL, transferir 5 mL do filtrado.
- 2 – Em seguida, adiciona-se 03 gotas do Reagente 01 e agite até homogeneizar.
- 3 – Em seguida, adiciona-se 03 gotas do Reagente 02 e agite até homogeneizar.
- 4 – Em seguida, adiciona-se 03 gotas do Reagente 03 e agite até homogeneizar.

5 – Por fim, abra a cubeta e posicione sobre a cartela e realize a comparação da cor.

O resultado obtido na cartela é expresso em:  $\text{mg. } \left[ \frac{\text{kg}}{\text{L}} \right]^{-1} \text{N-NH}_3$ .

#### **4.2.2 Teor de Íons de Ferro III (Fe<sup>3+</sup>)**

Para a análise do Teor de Íons de Ferro III, foi realizada uma análise qualitativa, utilizando o antiácido analgésico Sonrisal (bicarbonato de sódio, carbonato de sódio e ácido cítrico). O experimento foi realizado com a seguinte metodologia:

1 – É colocada 2 g de amostra de lodo em dois Beckers de 40 ml distintos, isso para cada amostra retirada do lodo.

2 – Em seguida é colocado 30 ml de água destilada em cada um dos Beckers.

3 – Então é macerado um comprimido de Sonrisal, e colocado aos poucos, para que transborde, em apenas um dos Becker contendo a solução de água destilada e a amostra do lodo, de modo que fique, para cada amostra, um Becker com Sonrisal e outro sem para comparação.

4 – Após colocar todo o comprimido e o mesmo ter dissolvido na solução, deixar os em repouso por três a quatro dias, observando diariamente a cor da fase aquosa.

#### **4.2.3 Potencial Hidrogeniônico – pH**

Para realizar esta análise utilizamos o pHmetro digital e as soluções tampões pH 4.0 e pH 7.0 para estar calibrando o aparelho, água destilada para estar limpando o eletrodo e a amostra de lodo úmida.

1 – Para preparar a amostra, utilizamos 5 gramas de lodo seco para 30 ml de água destilada. E deixamos em repouso para sedimentar o particulado da solução.

2 – Em seguida, utilizamos um agitador magnético e um “peixinho” para homogeneizar a solução de lodo + água destilada, após a homogeneização, deixamos a solução em repouso para sedimentar o particulado da solução, para que o particulado não influencie na análise do pH.

3 – Antes de iniciar a análise, deve-se retirar as soluções tampão da geladeira 30 minutos antes e em seguida calibrar o aparelho.

4 – Após a calibração, deu-se início a análise, onde o eletrodo se manteve imerso na solução de lodo + água deionizada até estabilizar o pH.



Imagem 01: *pHmetro* digital realizando a análise do pH da amostra.

Fonte: o Autor.

#### 4.2.4 Teor de Umidade

Para o teste de teor de umidade/sólidos foram retiradas três amostras do lodo para secar na estufa a 100° C, as amostras eram pequenas, mas seriam representativas do total. Para o monitoramento as amostras são pesadas no instante zero, antes de ir para a estufa, junto com seu recipiente (placa de Petri), com 2 horas de aquecimento e após 4 horas de aquecimento, quando o processo é finalizado.

Para retirar o valor do Teor de Sólidos (TS) basta subtrair o valor da pesagem final do peso do recipiente sem a amostra, e então dividir pelo peso líquido da amostra, o valor então é multiplicado por 100 para o resultado ser apresentado em porcentagem. E para o Teor de Umidade (TU) bastada subtrair o valor encontrado para TS de 100, que o valor já se apresentará em porcentagem.

As pesagens foram realizadas utilizando uma balança de precisão com quatro casas decimais.



Imagem 02: Estufa.

Fonte: o Autor.



Imagem 03: Lodo Seco.

Fonte: o Autor.

#### 4.2.5 Granulometria

Para a determinação da Granulometria do lodo, foi utilizada a norma “ABNT NBR 7181 Solo - Análise granulométrica”. O que fez necessário tritura o lodo seco em estufa a 100° C, utilizando um almofariz e um pistilo, seguindo as orientações normativas.

Como o material visualmente já apresentava grãos bem finos, foi realizada o peneiramento dos finos do material, segundo a ABNT NBR 7181 Solo - Análise granulométrica. Para o peneiramento de finos foram utilizadas as peneiras com aberturas de 1,18; 0,6; 0,425; 0,3; 0,15; 0,075 mm (milímetros) (imagem 1). Colocadas uma em cima da outra, de forma decrescente e com um fundo

metálico no final, as peneiras então foram levadas a um agitador eletromagnético para a realização do ensaio, com o material despejado na peneira mais acima e a mesma sendo tampada previamente.



Imagem 04: almofariz com um pistilo de porcelana.

Fonte: o Autor.



Imagem 05: Lodo macerado.

Fonte: o Autor.



Imagem 06: Esquema de Peneiras Utilizado.

Fonte: o Autor.

### 4.3 Confeção da argamassa

Para que o lodo de ETE que estamos trabalhando, e que já foi analisado e caracterizado, seja usável na confecção de argamassa ele precisa ser preparado, de forma que fica mais trabalhável e com características semelhantes as dos outros componentes que formam a argamassa.

Para que o LETE se torne trabalhável, primeiramente é necessário secá-lo o máximo possível, retirando quase toda a sua umidade. Para isso, foi colocado aproximadamente 2,5 Kg de lodo distribuídos em duas bandejas de alumínio, evitando fazer uma camada muito espessa de lodo, pois isso afeta a secagem, após isso, as bandejas são levadas a estufa para secagem a uma temperatura acima de 100°C O lodo ficará secando dentro da estufa até que seja possível identificar, através de testes visuais e táteis, através da formação de torrões, que o mesmo esteja seco e pronto para a próxima etapa.

Após uma semana de iniciado o processo de secagem do lodo, ele apresenta a umidade ideal para que se possa triturá-lo. O lodo se encontra seco e aglutinando em “pequenas pedras”, ou torrões, devido a perda de umidade. Então para que o ele fique com uma granulometria mais semelhante aos outros elementos da argamassa, evitando a heterogeneidade, é necessário usar um almofariz com um

pistilo de porcelana para triturar o lodo até torná-lo em um “pó”, com finura inferior a apresentada anteriormente, que é o desejado.

Após realocar o lodo das bandejas de alumínio para o almofariz utilizamos o pistilo para moer o lodo, realizando movimentos circulares, em qualquer sentido que seja mais prático, e exercendo uma moderada quantidade de pressão de cima para baixo para que ocorra o efeito desejado.

É importante armazenar com cuidado o lodo nesse estado de “pó”, pois devido a granulometria reduzida e se apresentar baixa umidade, devido a secagem em estufa, o lodo exposto ao ambiente pode absorver a umidade presente nele, o que pode atrapalhar o desempenho do traço confeccionado com o material.

Para a confecção da argamassa que será usada como teste para a aplicabilidade do Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto na construção civil, foi consultada a norma ABNT NBR 7215 Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Da norma retiramos as proporções e quantidades de cimento, areia e água para a confecção da argamassa, sendo a razão entre cimento e areia sendo de 1:3 respectivamente. O cimento utilizado é do tipo CP II F 32.

Para a aplicação do LETE, foi decidido substituir a areia, que compõe a argamassa, em teores de 0%, 5%, 7,5% e 10% de lodo. Os traços foram nomeados da seguinte maneira: S0=0%; S1=5%; S3=7,5%; S2=10%.

A norma também descreve a utilização de um molde para corpo de prova cilíndrico com 50 mm de diâmetro interno e 100 mm de altura. Devido a indisponibilidade desse molde, o mesmo foi confeccionado pelo aluno, utilizando um cano de PVC com 50 mm de diâmetro e sendo cortado com 100 mm de altura, de modo a possuir as dimensões necessárias.

Após a homogeneização dos materiais com a adição de água em uma batedeira, eles são separados, para que seja realizada o *flow tablet test* e a moldagem da argamassa, tudo seguindo o descrito pela norma ABNT NBR 7215.



Imagem 07: Homogeneização da argamassa.

Fonte: o Autor.

#### 4.4 Flow Tablet Test

O flow tablet test é realizado seguindo o anexo B da norma ABNT NBR 7215, de modo a identificar índice de consistência normal da argamassa. Para a realização do teste é utilizado um aparelho constituído por uma mesa horizontal lisa e plana de metal não corrosível, com uma haste fixada em seu centro, a qual, por uma guia conveniente, recebe de um excêntrico um movimento vertical ascendente, de  $(12,5 \pm 0,2)$  mm de curso, e dessa altura cai (imagem 4). Então uma pequena parte da argamassa é moldada, com um molde próprio, no centro do aparelho de teste.

A argamassa é colocada em três camadas da mesma altura e, com soquete normal, aplicar 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente, nas primeira, segunda e terceira camadas. Então o molde é retirado e utilizasse a manivela do aparelho para medida de consistência, fazendo com que a mesa caia 30 vezes em aproximadamente 30 s, o que provocará o abatimento do tronco de cone da argamassa.

A medida do diâmetro da base do tronco de cone de argamassa, após o abatimento, é feita com auxílio do paquímetro e expressa em milímetros. O índice de consistência da argamassa é a média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais.



Imagem 08: Aparelho para o Flow Table Test.  
Fonte: o Autor.



Imagem 09: Medida do diâmetro da base do tronco de cone de argamassa.  
Fonte: o Autor.

#### 4.5 Moldagem

Para a colocada da argamassa nos moldes, a argamassa é colocada em quatro camadas de mesma altura, sendo que a cada camada colocada são aplicados 30 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, com soquete normal. Para que o topo seja o mais reto possível e acrescentada ou retirada a argamassa excedente com o auxílio de uma espátula.

Após 24 horas de ocorrer a moldagem dos corpos de prova, eles são desmoldados e colocados para curar dentro de um recipiente cheio de água fresca, de maneira que fiquem completamente

submersos. Os corpos de prova permaneceram dentro dos recipientes até atingirem as idades para a quebra dos mesmos.

Essa etapa também segue o que foi descrito na norma ABNT NBR 7215 Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.



Imagem 10: Moldes de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura.

Fonte: o Autor.

#### **4.6 Ensaio de Resistência**

As idades para a quebra dos corpos de provas foram estabelecidas como sendo 7, 14 e 28 dias após a adição de água na mistura da argamassa. Esse processo se repete para todos os teores de substituição por lodo estabelecidos.

Para a determinação da resistência da argamassa a compressão, é utilizada uma prensa hidráulica que mede a quantidade de tensão aplicada sob os corpos de prova até que eles se “quebrem”, não sendo mais capazes de suportar a tensão. Os resultados então são anotados para a análise das resistências.

Nessa etapa foram seguidas as instruções das normas ABNT NBR 7215 Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão e ABNT NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.



Imagem 11: Prensa Hidráulica.

Fonte: o Autor.

#### 4.7 Conversão dos valores

Para que esses valores fossem encontrados, foi necessário fazer conversões de unidades, pois o resultado das resistências mostrado pela prensa hidráulica é apresentado na unidade toneladas força (tf), sendo que o desejado é em Mega Pascal (MPa).

Para que isso fosse possível, com o auxílio do software Excel, dividimos a resistência, provida pela prensa, pela área de contato dos Corpos de Prova. Tendo em mente que as suas áreas são iguais, devido ao molde usado, só seria necessário descobrir a área interna do molde. Como o molde tem 50 mm de diâmetro interno, utilizamos a fórmula da área de um círculo:  $A = \pi \times d^2 / 4$ , usando o valor do diâmetro em centímetros (cm), obtemos uma área de 19,63 cm<sup>2</sup>, aproximadamente.

Dividindo a resistência, em toneladas força (tf), pela área, centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>), obtivemos uma pressão com unidade toneladas força por centímetros quadrados (tf/cm<sup>2</sup>).

Então para que essa resistência esteja na unidade desejada em Mega Pascal, dividimos o valor em toneladas força por centímetros quadrados (tf/cm<sup>2</sup>), por 0,0101971573. Assim resultando um valor em Mega Pascal (MPa).

## 5 Resultados e Discussões

Nessa seção estão listados os resultados obtidos nas análises realizadas.

### 5.1 Características físico-químicas

Na tabela 03 temos as características físico-químicas que identificamos do lodo de ETE, através dela vemos quais peculiaridades do lodo podem afetar seu desempenho como material na argamassa.

A princípio nenhum impede a sua utilização, mas os dois fatores que interferem significativamente com a sua função na pesquisa são os altos valores no teor de matéria orgânica presente no lodo, entre 30% e 60%, e a umidade do lodo em natura, como ele foi coletado na estação, com uma média de 80% da sua massa total sendo de água. Ambas essas características se dão devido a sua origem.

Tabela 03 - Características físico-químicas do lodo de ETE

| ANÁLISES   | AMOSTRA 1  | AMOSTRA 2  | AMOSTRA 3  | MÉDIA  |
|--|--|--|--|--|
| <b>Teor Matéria Orgânica</b>                         | 30,0 - 60,0 %  | 30,0 - 60,0 %  | 30,0 - 60,0 %  | 30,0 - 60,0 %  |
| <b>Fosfato (PO<sub>4</sub>)</b>                      | > 30,0 mg Kg <sup>-1</sup>                           |
| <b>Potássio (K)</b>                                  | 200 - 300 mg Kg <sup>-1</sup>                        |
| <b>Alumínio (Al)</b>                                 | 0,4 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 0,2 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 0,8 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 0,47 mg Kg <sup>-1</sup>                             |
| <b>Cálcio + Magnésio (Ca + Mg)</b>                   | 30,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 1,4 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 20,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 17,13 mg Kg <sup>-1</sup>                            |
| <b>Nitrogênio Mineral</b>                            | 25,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 25,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 1,00 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 17,00 mg Kg <sup>-1</sup>                            |
| <b>Nitrito (NO<sub>2</sub>-)</b>                     | 5,0 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 5,0 mg Kg <sup>-1</sup>                              | 0,10 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 3,37 mg Kg <sup>-1</sup>                             |
| <b>Nitrato (NO<sub>3</sub>-)</b>                     | 20,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 20,0 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 0,90 mg Kg <sup>-1</sup>                             | 13,63 mg Kg <sup>-1</sup>                            |
| <b>Amônia Indotest (NH<sub>3</sub>)</b>              | 0,0 mg Kg <sup>-1</sup>                              |
| <b>Teor de Íons de Ferro III (Fe<sup>3+</sup>) *</b> | Há presença de Íons de Ferro III (Fe <sup>3+</sup> ) | Há presença de Íons de Ferro III (Fe <sup>3+</sup> ) | Há presença de Íons de Ferro III (Fe <sup>3+</sup> ) | Há presença de Íons de Ferro III (Fe <sup>3+</sup> ) |
| <b>pH</b>  | 6,22   | 5,84   | 6,16   | 6,07   |
| <b>Teor de Umidade</b>                               | 80,3667%   | 80,2463%   | 80,3282%   | 80,3137%   |

Fonte: o Autor.

\* Análise qualitativa.

## 5.2 Granulometria

NA tabela 04 vemos os resultados da análise granulométrica realizada para identificar a granulometria, das partículas do lodo de ETE, após eles serem secos em estufa e triturados, e no estado onde eles seriam incorporados à argamassa.

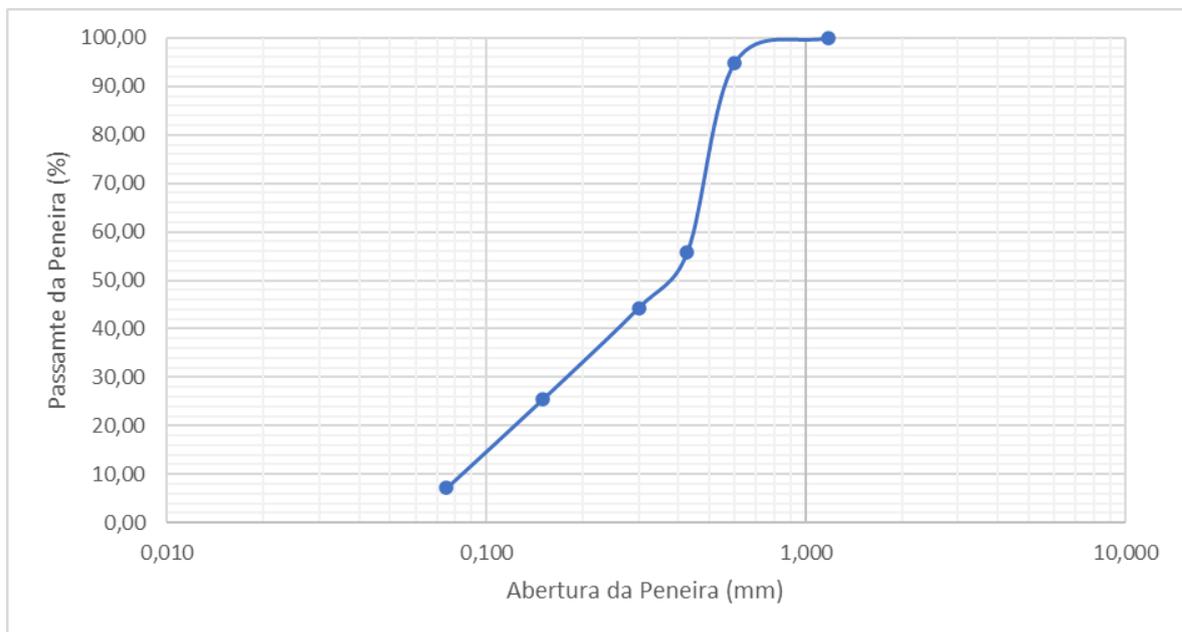
No gráfico 02 é apresentada a curva granulométrica do lodo de ETE, e com os dados obtidos podem identificar que maior parte do lodo analisado fica retido na peneira com 0,425 mm de abertura, seguindo a norma ABNT NBR 5734 – Peneiras para ensaio – Especificação, o que poderia classificar o lodo como um agregado miúdo, segundo o estabelecido na norma ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação.

Tabela 04 – Granulometria do lodo de ETE

| Peso total da amostra (g) | Peneira (mm) | Peneira (ABNT) | Massa Retirada (g) | % Retida na Peneira | % Retida acumulada | % Passante pela Peneira |
|---------------------------|--------------|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 551,9                     | 1,180        | 16             | 0,105              | 0,019               | 0,019              | 99,981                  |
|                           | 0,600        | 30             | 27,9               | 5,055               | 5,074              | 94,926                  |
|                           | 0,425        | 40             | 216,3              | 39,192              | 44,266             | 55,734                  |
|                           | 0,300        | 50             | 62,9               | 11,397              | 55,663             | 44,337                  |
|                           | 0,150        | 100            | 104,4              | 18,916              | 74,580             | 25,420                  |
|                           | 0,075        | 200            | 101,0              | 18,300              | 92,880             | 7,120                   |
|                           | FUNDO        | FUNDO          | 37,5               | 6,795               | 99,675             | 0,325                   |

Fonte: o Autor.

Gráfico 02 – Curva Granulométrica do lodo de ETE



Fonte: o Autor.

### 5.3 Índice de Consistência normal

Utilizando o ensaio descrito no anexo B da norma ABNT NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, foi possível identificar o a consistência dos traços confeccionados de argamassa. Os resultados foram apresentados na tabela 05.

Com esses valores é possível identificar que a presença de lodo na argamassa a torna menos maleável, quanto mais é adicionado. Nos traços S2 e S3 não foi possível identificar o diâmetro da circunferência nos ensaios devido ao não abatimento total do tronco do cone de argamassa, tornando impossível a formação de uma circunferência ideal.

Tabela 05 - Índice de Consistência normal do lodo de ETE

| Traço da argamassa     | S0  | S1  | S2           | S3           |
|------------------------|-----|-----|--------------|--------------|
| Média do diâmetro (cm) | 230 | 216 | Não aferível | Não aferível |

Fonte: o Autor.

### 5.4 Resistência à compressão dos traços

Após realizar o rompimento dos corpos de prova os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 06, de como os diferentes traços resistiram à força de compressão, nas três idades escolhidas.

O gráfico 03 mostra as médias das resistências dos traços para cada uma das três idades de rompimento e com esses valores foi possível observar como a substituição da areia pelo lodo de ETE afeta a resistência da argamassa. Eles mostram que a presença de pequenas quantidades de lodo de ETE, com o S1 e S3, aumentam em resistência, se comparados a argamassa sem o lodo, o S0, sendo que o S3 apresenta a maior resistência média dos traços, com 10,548 MPa, na idade de 28 dias. Porém, quando a uma concentração mais elevada de lodo de ETE, como no S2, a resistência cai significativamente, sendo o traço que menos resistiu à compressão, com uma média de 4,815 MPa, na idade de 28 dias.

Levando em consideração as resistências apresentadas é possível classificar os traços de argamassa confeccionados segundo a norma ABNT NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. A argamassa do traço S2 sendo classificada como do tipo P4, argamassa com resistência a compressão entre 4,0 e 6,5 MPa, já os demais traços podem ser classificados como do tipo P6, com resistência maior que 8 MPa.

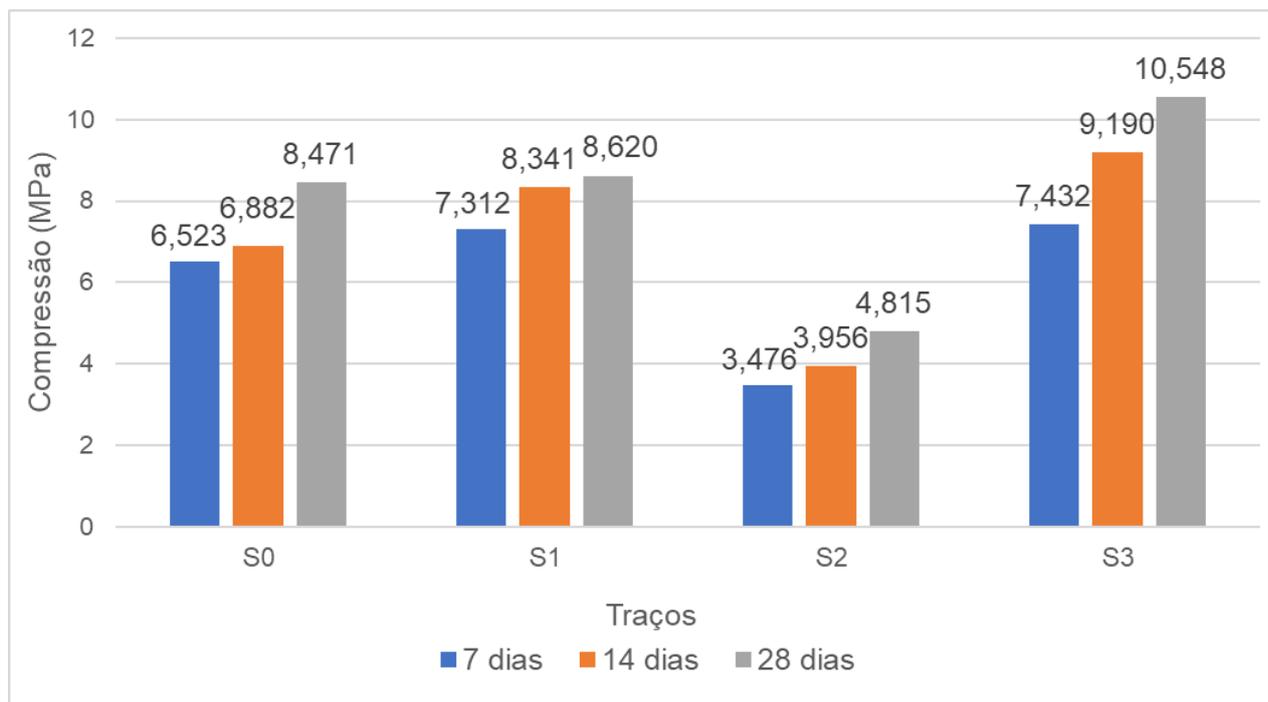
Tabela 06 - Resistencia à compressão dos traços com lodo de ETE

| Traço | 7 dias |       | 14 dias |        | 28 dias |        |
|-------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|
|       | CPs    | Mpa   | CPs     | Mpa    | CPs     | Mpa    |
| S0    | 1      | 6,543 | 1       | 8,541  | 1       | 10,039 |
|       | 2      | 5,844 | 2       | 7,342  | 2       | 8,591  |
|       | 3      | 7,192 | 3       | 6,593  | 3       | 7,941  |
|       | 4      | 6,643 | 4       | 6,593  | 4       | 7,991  |
|       | 5      | 6,393 | 5       | 5,344  | 5       | 7,791  |
| S1    | 1      | 7,642 | 1       | 8,241  | 1       | 8,141  |
|       | 2      | 7,392 | 2       | 7,392  | 2       | 7,542  |
|       | 3      | 7,092 | 3       | 8,291  | 3       | 10,538 |
|       | 4      | 6,543 | 4       | 8,591  | 4       | 10,089 |
|       | 5      | 7,891 | 5       | 9,190  | 5       | 6,793  |
| S2    | 1      | 3,946 | 1       | 4,595  | 1       | 4,745  |
|       | 2      | 3,796 | 2       | 3,996  | 2       | 4,545  |
|       | 3      | 3,196 | 3       | 3,746  | 3       | 4,046  |
|       | 4      | 3,246 | 4       | 3,246  | 4       | 4,745  |
|       | 5      | 3,196 | 5       | 4,195  | 5       | 5,993  |
| S3    | 1      | 6,593 | 1       | 10,089 | 1       | 12,187 |

|   |       |   |        |   |        |
|---|-------|---|--------|---|--------|
| 2 | 6,942 | 2 | 7,542  | 2 | 10,938 |
| 3 | 7,692 | 3 | 10,588 | 3 | 9,290  |
| 4 | 8,091 | 4 | 7,692  | 4 | 10,389 |
| 5 | 7,841 | 5 | 10,039 | 5 | 9,939  |

Fonte: o Autor.

Gráfico 03 – Medias das Resistencia à compressão dos traços com lodo de ETE



Fonte: o Autor.



Imagem 12: CPs S0 rompidos.

Fonte: o Autor.



Imagem 13: CPs S1 rompidos.

Fonte: o Autor.



Imagem 14: CPs S2 rompidos.

Fonte: o Autor.



Imagem 14: CPs S3 rompidos.

Fonte: o Autor.

## 6 Considerações Finais

Como conclusão da pesquisa realizada foi possível identificar que as características do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) o permite ser usando como agregado miúdo na argamassa cimentícia, com os devidos tratamentos do material, como secagem e moagem. Tentar utilizá-lo em seu estado natural, como ele é retirado na ETE, tornasse inviável, devido ao alto nível de água e matéria orgânica presente na sua composição, o que o torna muito reativo ao ambiente.

Os resultados dos testes indicam que com o aumento do teor de lodo no traço menor é a sua tendência de se espalhar. Essa informação deve ser testada mais a fundo para determinar se isso atrapalha a sua aplicabilidade, e se o aumento na quantidade de água no traço melhora esse fator sem diminuir demais a resistência.

Quanto a resistência apresentada, foi analisado que substituindo em 5% a areia por lodo, ele não sofre alteração significativa, se comparado ao traço com 0% de lodo, já para 7,5% o traço apresenta aumento na sua resistência, com a maior resistência entre os traços aos 28 dias, com uma média de 10,548 MPa. O traço com 10% de teor de lodo, em contrapartida, apresenta a menor resistência dos traços, média de 4,815 MPa aos 28 dias, o que pode indicar uma tendência de que aumentar demais o teor de lodo pode causar a perda de resistência da argamassa.

Nessa pesquisa foram realizados ensaios que identificam a resistência a compressão normal e consistência da argamassa confeccionada com o lodo de ETE, porém, há outros fatores importantes que ainda devem ser averiguados, como a própria norma “ABNT NBR 13281 - Argamassa para

assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos” apresenta, além da resistência a compressão normal. Por isso é indicado realizar os ensaios necessários para identificar as características levantadas nessa norma, uma vez que ela permite classificar a argamassa confeccionada, segundo o padrão utilizado nas argamassas comercializadas atualmente.

Tendo em vista os resultados obtidos com a metodologia aplicada, e o que foi aprendido durante o curso dessa pesquisa é possível levantar certos questionamentos sobre o material trabalhado e a metodologia de utilização dele. Como, se caso o lodo seja incinerado ao invés de seco em estufa, se isso diminuiu a influência da matéria orgânica no traço da argamassa, se o lodo de ETE pode ser utilizado como insumo de outro tipo de função na construção civil como para pavimentação leve, e se o lodo de ETA (estação de tratamento de água) apresenta características similar ao de ETE, quando incorporado na engenharia civil.

## 7 Referências

1. ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. DESTINAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO GERADO EM ETA - LEI 12.305/2010. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Poços de Caldas - MG, 24 a 29 maio 2015.
2. ARAÚJO, F. F. D.; BETTIOL, W. Efeito de lodo de esgoto sobre patógenos habitantes do solo e severidade de oídio da soja. *Summa Phytopathol, Botucatu*, v. 35, n. 3, p. 184-190, março 2009.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, p. 71, 2004.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, p. 2, 1995.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281 - Argamassa Para Assentamento E Revestimento De Paredes E Tetos, Rio de Janeiro, p. 7, 2005.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica, Rio de Janeiro, p. 12, 2016.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, p. 9, 2009.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, p. 8, 1996.
9. BETEMPS, C. embrapa.br, 2018. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32485890/lodo-de-egoto-e-otimo-componente-de-substratos-para-plantas#:~:text=antes%20do%20uso-,Os%20lodos%20de%20esta%C3%A7%C3%A3o%20de%20tratamento%20de%20esgoto%20\(Letes\)%20s%C3%A3o,Esta%C3%A7%C3%B5es%20](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32485890/lodo-de-egoto-e-otimo-componente-de-substratos-para-plantas#:~:text=antes%20do%20uso-,Os%20lodos%20de%20esta%C3%A7%C3%A3o%20de%20tratamento%20de%20esgoto%20(Letes)%20s%C3%A3o,Esta%C3%A7%C3%B5es%20)>. Acesso em: 16 março 2022.
10. BRASIL "Lei Nº 12.305 de 02 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". Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.
11. BRASIL. "RESOLUÇÃO Nº 498, DE 19 DE AGOSTO DE 2020: Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio-sólido em solos, e dá outras providências".. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Brasília, DF, 19 DE AGOSTO DE 2020.
12. CANEJO, C. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. 1ª. ed. [S.l.]: Editora Freitas Bastos, 2021.

13. COSTA, F. M. S. D. ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CINZA DE LODO DE ESGOTO COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND. 2014. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
14. DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. *Eng Sanit Ambient*, v. 20, n. 4, p. 685-698, out/dez 2015.
15. DINIZ, M. A. O. M.; MELO, D. D. C. P. D. Potencial aproveitamento de lodo de ETE na construção civil em Recife/PE. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 5, p. 187-203, Ago/Set 2019.
16. GASQUES, A. C. F. et al. IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: BREVE REVISÃO TEÓRICA. *Revista Tecnológica*, Maringá, v. 23, p. 13-24, 2014.
17. JUNIOR, M. R. V.; CORRÊA, R. D. S. D. S. IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS CAUSADOS PELO ATERRO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE MARITUBA-PA. II Seminário Nacional de Serviço Social, Trabalho e Políticas Sociais. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 23 a 25 outubro 2017.
18. LESSA, G. T. CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTO MISTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas, Porto Alegre - RS, 2005.
19. MARANGONI, B.; ZALESKI, A.; VANZETTO, S. C. AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE MIÚDO NA MATRIZ DE CONCRETO. *PERSPECTIVA*, Erechim, v. 42, n. 158, p. 21-30, junho 2018.
20. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL. PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2020.
21. OLIVEIRA, L. D. C. et al. II-554 - AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO DO LODO GERADO PELAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE'S) E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA'S) DE PALMAS-TO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Congresso ABES FENASAN 2017, 2017.
22. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL 2021. ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. [S.l.]. 2021.
23. PROENÇO, L. M. D. S. O USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) EM BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA). , Palmas - TO, 2018.

- 
24. PROLAGOS.COM.BR , 2022. Disponível em: <<https://www.prolagos.com.br/esgotamento-sanitario/>>. Acesso em: 18 março 2022.
  25. RESENDE, D. S. D.; BEZERRA, A. C. D. S.; GOUVEIA, A. M. C. D. Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de batata pré-fritas. Rem: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 65, n. 2, p. 169-174, abr/ jun 2012.
  26. RIBEIRO, M. A.; CRUZ, M. B. D.; MONTEIRO, I. P. D. C. O desafio da sustentabilidade na construção civil: aspectos legais e jurisprudenciais. REVISTA DO CEDS (Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB), v. 1, n. 5, ago/dez 2016.
  27. SANTOS, F. P. D. ESTUDO DA INCOPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM ARGAMASSA. Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, Caçapava do Sul, dezembro 2016.
  28. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019, Brasília - DF, 2019.
  29. SOUTO, K. R. D. S. APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO E CONCHA DE LILIU (Anomalocardia brasiliana) EM ARGAMASSA.2016. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Sanitária) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
  30. SOUZA, M. M. D. et al. Uso do lodo de esgoto na produção de agregados leves: uma revisão sistemática de literatura. revista Matéria, v. 25, n. 1, 2020.