



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA**

**ANA BEATRIZ SILVA PAOLUCCI DE PAIVA  
BRUNA MALTA DAMASCENO**

***DIFERENTES PERCENTUAIS DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA  
MOLDAGEM DE TIJOLOS***

**OURO BRANCO-MG  
DEZEMBRO-2022**



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI  
CAMPUS ALTO PARAOPÉBA**

**ANA BEATRIZ SILVA PAOLUCCI DE PAIVA  
BRUNA MALTA DAMASCENO**

***DIFERENTES PERCENTUAIS DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA  
MOLDAGEM DE TIJOLOS***

Trabalho de Conclusão  
de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de  
Graduação em Engenharia  
Civil, da Universidade Federal  
de São João del-Rei, *Campus*  
Alto Paraopeba, como requisito  
parcial para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia  
Civil

**Orientador:** Eliane Prado C. C. dos Santos

**Coorientador:** Leandro Neves Duarte

OURO BRANCO-MG  
DEZEMBRO-2022

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P149d Paiva, Ana Beatriz Silva Paolucci de.  
Diferentes percentuais de lodo de estação de tratamento de água  
na moldagem de tijolos./ Ana Beatriz Silva Paolucci de Paiva; Bruna  
Malta Damasceno; orientadora Eliane Prado Cunha dos Santos;  
coorientador Leandro Neves Duarte. -- Ouro Branco, MG, 2022.  
35 p. il.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) -  
Universidade Federal de São João del-Rei, 2022.

1. Tijolo solo-cimento 2. Lodo de ETA 3. Resíduo de ETA 4.  
Coprocessoamento 5. Estação de tratamento de água I. Damasceno,  
Bruna Malta. II. Santos, Eliane Prado Cunha Costa dos, orient. III.  
Duarte, Leandro Neves, coorient. IV. Título.

**ANA BEATRIZ SILVA PAOLUCCI DE PAIVA  
BRUNA MALTA DAMASCENO**

***DIFERENTES PERCENTUAIS DE LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA  
MOLDAGEM DE TIJOLOS***

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.*

Aprovado em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Profª. Dra. Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

---

Prof. Dr. Leandro Neves Duarte

---

Profª. Dra. Mariana Arruda Pereira

---

Prof. Dr. Jorge David Alguiar Bellido

---

Prof. Dr. Eduardo Sarquis Soares

---

Eng. Herbert Moreira de Abreu

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente à Prof<sup>a</sup>. Dra. Eliane Prado Cunha Costa dos Santos, que nos orientou de forma coerente e calma, acreditando no nosso potencial e extraindo o melhor de cada uma.

Ao Prof. Dr. Leandro Neves Duarte, que se dispôs em vários momentos para sanar dúvidas e participar de forma prática das nossas atividades, sendo sempre presente e solícito.

Ao Professor Eduardo Sarquis Soares, que foi o pioneiro das pesquisas com tijolo solo-cimento no Campus Alto Paraopeba e cedeu, com entusiasmo, os equipamentos indispensáveis para preparo e moldagem dos tijolos.

Ao Prof. Dr. Tales Moreira de Oliveira, e aos técnicos Marcus Filipe Marinho Reis, Andréia da Conceição de Faria e Alessandra Resende Gomes, que tiraram dúvidas e sugeriram melhoras durante a execução dos ensaios em laboratório.

À Associação Civil Religiosa São Francisco de Assis (ASFA) e seus colaboradores, que cederam seu espaço, maquinário, material e mão de obra para auxiliar no processo de moldagem dos tijolos.

Aos Técnicos Paulo Eduardo da Silva Costa e Ricardo Soares da Silva por nos emprestarem equipamentos que foram indispensáveis para que nossas atividades fossem realizadas.

Aos nossos familiares, companheiros e amigos, que entenderam nossa ausência neste momento tão desafiador e se interessaram e vibraram com cada conquista da nossa pesquisa.

## RESUMO

No presente trabalho foi realizado um estudo para avaliar o uso do lodo gerado durante o tratamento de água na moldagem de tijolos de solo-cimento. A metodologia foi dividida em separação e preparo dos materiais, caracterização dos materiais, preparo e moldagem dos tijolos, testes de avaliação da qualidade dos tijolos e caracterização das misturas utilizadas nos traços. Foram avaliados 5 traços com diferentes proporções de cimento, areia, solo e lodo de ETA. Em cada traço, foram moldados 20 tijolos aproximadamente. Pôde-se observar que o traço 3, foi o mais promissor, com a média de absorção de água de 17,93% e a média da resistência a compressão simples sendo de 1,97 MPa, a absorção de água atendeu aos requisitos da norma (NBR 8491:2012), que estabelece que a média seja igual ou inferior a 20%, porém na resistência a compressão simples, o resultado foi abaixo de 2,00 MPa, não atendendo as exigências da mesma.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	4
RESUMO.....	5
SUMÁRIO.....	6
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.2 Objetivo Específicos.....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
3.1 Separação e preparo das amostras .....	15
3.1.1 Solo.....	16
3.1.2 Areia .....	17
3.1.3 Resíduo da ETA.....	17
3.2 Caracterização dos Materiais.....	18
3.3 Preparo e moldagem dos tijolos.....	19
3.3.1 Teste de Retração .....	21
3.4 Testes de avaliação da qualidade dos tijolos .....	22
3.4.1 Dimensão.....	22
3.4.2 Resistência à compressão simples.....	23
3.4.3 Absorção.....	25
3.5 Caracterização das misturas.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.2 Caracterização dos materiais.....	26

4.2 Testes de avaliação da qualidade dos tijolos .....	27
4.2.1 Cura .....	27
4.2.2 Teste de retração na caixa .....	27
4.2.3 Teste de dimensão dos tijolos .....	28
4.2.4 Resistência à compressão simples.....	30
4.2.5 Absorção.....	31
5. CONCLUSÕES.....	33
6. Referências bibliográficas.....	34



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triturador de solo.....	16
Figura 2 – Peneira.....	16
Figura 3 – Areia.....	17
Figura 4 - Remoção do lodo do <i>Geotube</i> . ....	17
Figura 5 - Lodo na umidade higroscópica. ....	18
Figura 6 - Lodo destorroado.....	18
Figura 7 – Betoneira.....	21
Figura 8 – Máquina hidráulica. ....	21
Figura 9 – Dimensões da Caixa. ....	22
Figura 10 - Como deve ser preenchida a caixa.....	22
Figura 11 - Caixa após 7 dias.....	22
Figura 12 - Faces do tijolo.....	23
Figura 13 - Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão. ....	23
Figura 14 - Prensa hidráulica. ....	24
Figura 15 – Tijolos no período de cura.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Ensaio realizados nos materiais.....	18
Tabela 2– Traços moldados.....	20
Tabela 3– Caracterização dos materiais.....	26
Tabela 4- Retração.....	28
Tabela 5– Dimensões Traço 1. ....	28
Tabela 6– Dimensões Traço 2. ....	29
Tabela 7– Dimensões Traço 3. ....	29
Tabela 8– Dimensões Traço 4. ....	29
Tabela 9– Dimensões Traço 5. ....	30
Tabela 10– Absorção de água dos tijolos. ....	32

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASFA	Associação Civil Religiosa São Francisco de Assis
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PH	Potencial Hidrogeniônico
SANEPAR	Sistema de Abastecimento Integrado de Curitiba
UFSJ	Universidade Federal de São João del Rei

## 1. INTRODUÇÃO

A água com qualidade e em quantidade é fundamental para a sobrevivência humana e o desenvolvimento de suas atividades diárias (HELLER e PÁDUA, 2016). A Assembleia Geral das Nações Unidas (2010) declarou, por meio da Resolução nº 64/292, como um direito essencial a todos os seres humanos, o acesso à água potável e saneamento básico.

O Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 888/2021 estabelece o Padrão de Potabilidade Brasileiro, definindo-o como o “conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano”, a fim de que a água fornecida para a população tenha qualidade e esteja adequada ao consumo humano.

O art.5º da referida Portaria, define a expressão água para consumo humano como “água potável destinada à ingestão, preparação de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem”, sendo água potável a “água que atenda ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde do homem”.

Para que o fornecimento de água potável seja possível aos cidadãos, é necessário que a água bruta passe por um tratamento em uma Estação de Tratamento de Água (ETA).

As tecnologias de tratamento de água bruta utilizadas nas ETAs têm como objetivo produzir uma água de qualidade removendo partículas suspensas e coloidais e outras substâncias prejudiciais à saúde humana (LIBÂNIO, 2010).

O tipo de tecnologia a ser empregada para tratar a água varia conforme as características biológicas, físicas e químicas (orgânicas, inorgânicas e radiológicas) de cada água. Vale ressaltar, que toda água tratada deve atender ao Padrão de Potabilidade, independente da técnica utilizada.

Entre as tecnologias utilizadas para tratar a água pode-se citar: técnicas que utilizam a coagulação química, por exemplo, filtração direta ou tratamento convencional e técnicas por separação por membrana (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração osmose reversa) e abrandamento (por troca iônica ou por dosagem de cal), sendo que cada procedimento gera resíduos com características distintas (RIBEIRO, 2007).

No Brasil, aproximadamente 75,15 % da água tratada distribuída por dia, é submetida ao tratamento convencional, também conhecido como ciclo completo (IBGE, 2017). Este tipo de tratamento utiliza as seguintes etapas para tratar a água: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção do pH e fluoretação. As técnicas de tratamento de água que filtram a água rapidamente utilizam produtos químicos para acelerar o tratamento e para remover as impurezas contidas na água, que por sua vez gera resíduos durante o tratamento de água (AKAMATSU e ROSS, 2017).

O resíduo gerado durante o tratamento de água nas ETAs, também chamado de lodo, têm origem nos decantadores, nas lavagens dos filtros e na limpeza dos tanques de preparo de soluções e suspensões de produtos químicos e floculadores. Ele é constituído pelas impurezas contidas na água bruta, coagulante, auxiliar de coagulação, alcalinizantes e polímeros (GERVASONI, 2014).

Os lodos de ETAs têm em sua composição grandes concentrações de água e, por isso, no seu tratamento faz-se o desaguamento, desidratação e secagem para diminuição do volume do resíduo e, assim, reduzir os custos com a destinação final do lodo e contribuir com a sustentabilidade do empreendimento.

Existem diversos tipos de processos para a desidratação e secagem como o uso de *geobags*, *decanter* centrífugo, filtro prensa, *screw press*, leitos de secagem, lagoa de lodo, secagem solar e secadores com queima de combustível (LEGNER, 2018).

O Geobag é um geotêxtil com pequenos poros que permitem que a água seja drenada. Este método consiste na drenagem da água a fim de reduzir o volume do lodo pelo aumento do teor de sólidos totais e, conforme Achon, Barroso e Cordeiro (2005), possui grande potencial no Brasil, pois é comum em ETAs terem espaço para implementação dos leitos de drenagem.

A NBR 10004 (2004) classifica os resíduos gerados nas ETAs como resíduos sólidos, necessitando de disposição final adequada, sendo proibido seu descarte sem tratamento prévio. Portanto, seu destino deve ser em aterros, incineradores e coprocessamento.

A Lei 9433, de janeiro de 1997 fundamenta a Política Nacional de Recursos Hídricos e é considerada o principal documento legal sobre a gestão de recursos hídricos no Brasil. Já a Lei 9605, de 12 de fevereiro de 1998, Lei dos Crimes e

Infrações Ambientais, caracteriza o lançamento de resíduos *in natura* de forma irregular como crime ambiental. Embora as citadas leis sejam claras com relação ao destino inadequado dos resíduos gerado durante o tratamento de água, ainda há várias ETAs no país que estão em fase de adequação e adaptação a fim de darem um destino correto do resíduo gerado durante o tratamento de água.

As estações de tratamento de água devem considerar as diversas formas de tratarem os resíduos e a sua destinação final, envolvendo ao processo decisório os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais de cada uma, para assim, traçar um bom plano de gerenciamento dessa problemática (LIMA, MARTINS, *et al.*, 2021).

A destinação adequada de lodo de ETA, vem sendo vista como oportunidade de aumentar a receita das companhias, quando feito a reciclagem e seu reaproveitamento, gerando menores investimentos em aterros e sendo mais sustentáveis (LIMA, MARTINS, *et al.*, 2021).

Entre as soluções para a destinação do resíduo gerado durante o tratamento de água pode-se citar: a aplicação controlada no solo, fabricação de materiais de construção civil, lançamento em sistema de tratamento de esgoto, entre outras possibilidades (HELLER e PÁDUA, 2016).

AKAMATSU e ROSS (2017) fizeram um estudo sobre a aplicação de lodo de ETA na produção de tijolos ecológicos, também conhecidos como tijolo solo-cimento. Nesse estudo, o lodo utilizado foi da Estação de Tratamento de Água Alagados/Pitangui da Companhia de Saneamento (Sanepar), localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná. Para os testes foram preparados quatro traços com percentual de lodo de até 5 %. Os resultados das análises físico-mecânicas dos tijolos, conforme a especificação na norma (NBR8491:2012), foram satisfatórias para os testes de dimensões e absorção, com a média de absorção de água sendo igual a 20 % para todos os traços, porém no teste de resistência a compressão simples os resultados entre os traços teve maior valor atingido de 0,70 MPa, estando abaixo de 2,00 MPa.

Machado e Araújo (2014) avaliou tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e resíduos da construção civil. Nesse trabalho, desenvolveu-se apenas um traço com 30 % de resíduo da construção civil (RCD) retirado de uma empresa Norte-Fluminense, 10 % do lodo de uma ETA, localizada no vale do Paraíba, 50 % de

solo retirado de uma região no município de Volta Redonda, Rio de Janeiro, e juntamente com 10 % de cimento CPII do fabricante Votorantin. O resultado obtido no ensaio de resistência à compressão não atendeu a norma (NBR8491:2012), por não atingirem valores médios iguais ou maiores de 2,0 MPa e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa.

Em estudo realizado na universidade Estadual do Norte Fluminense, Rodrigues e Holanda (2013) desenvolveram quatro traços de tijolos solo-cimento com a substituição do solo pelo resíduo da ETA de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. A substituição do material foi realizada em uma variação de 0 a 5 % de lodo no traço de 1:10. Os tijolos foram avaliados em relação à absorção de água, massa específica *bulk* e resistência à compressão simples. Os resultados obtidos foram satisfatórios para a substituição de até 1,25 % de solo por lodo da ETA estudada, que conferiu ao tijolo uma absorção de água de 20 %, resistência à compressão simples de 5 MPa e massa específica *bulk* de aproximadamente 1,94 g/cm<sup>3</sup>.

De acordo com a NBR 8491 (2012), o tijolo de solo-cimento é constituído por uma mistura homogênea e compactada de solo, cimento Portland e água. Desse modo, têm vantagens econômicas e construtivas, pois a matéria-prima é abundante, a produção é relativamente rápida, não necessita de queima e dispensa revestimento ou mão de obra muito qualificada (WALKER, 2019).

Tendo em vista os pontos positivos na destinação do lodo ao coprocessamento e os estudos promissores quanto à utilização desse resíduo na produção de materiais de construção civil, mais especificamente na produção de tijolos solo-cimento, o presente trabalho teve como finalidade avaliar o uso do lodo gerado na ETA de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, na fabricação de tijolos solo-cimento.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

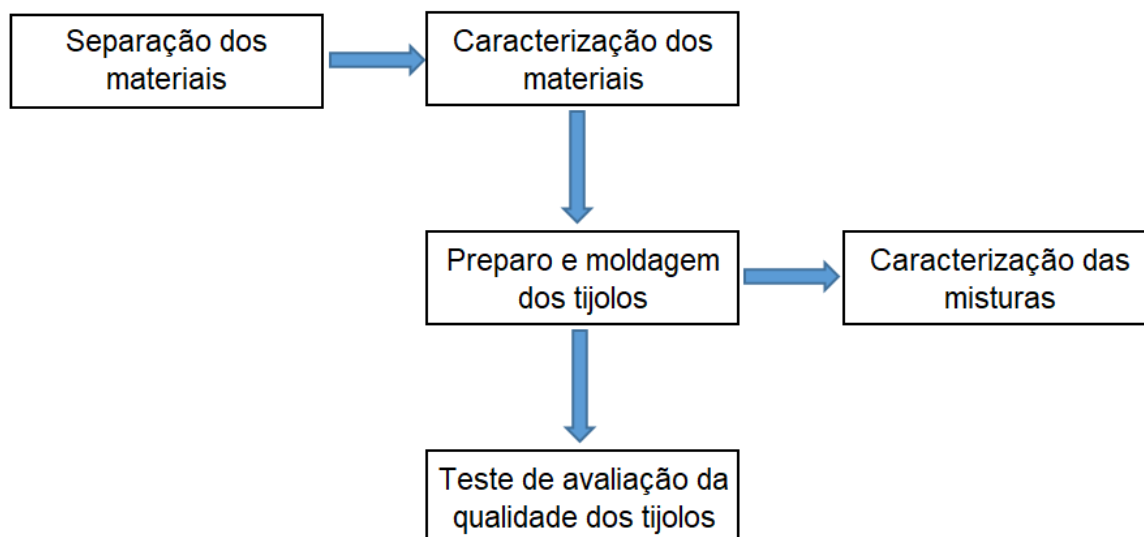
O presente estudo teve como objetivo testar diferentes percentuais de resíduo gerado numa Estação de Tratamento Água na região do Alto Paraopeba na moldagem do tijolo solo-cimento.

## 2.2 Objetivo Específicos

- Caracterizar a matéria-prima do tijolo solo-cimento;
- moldar tijolos solo-cimento com diferentes traços;
- analisar e quantificar as propriedades dos tijolos de solo-cimento, como a resistência à compressão, absorção de água e as dimensões, descritas e estipuladas nas normas NBR 8491 (2012) e NBR 8492 (2012).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia consistiu nas seguintes atividades:



As análises da caracterização dos materiais e a avaliação da qualidade dos tijolos foram realizadas nos Laboratórios de Geotecnia, de Materiais de Construção Civil e de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de São João del-Rei – Campus Alto Paraopeba. E a moldagem e a cura dos tijolos foram efetuadas na Associação Civil Religiosa São Francisco de Assis (ASFA) de Ouro Branco.

### 3.1 Separação e preparo das amostras

Para que o tijolo solo-cimento seja compatível com as orientações normativas, sua composição precisa conter água, cimento dos tipos Portland Comum, Composto,



Alto-Forno, Pozolânico ou de Alta Resistência Inicial e solo 100 % passante na peneira de abertura 4,8 mm, nº 4, e passante de 10 a 50 % na peneira de abertura 0,075 mm, nº 200, (ABCP BT-111, 2000).

A fim de atender às orientações feitas pela ABCP BT-111 (2000) em relação à granulometria do material utilizado para a mistura, foi necessário realizar correções granulométricas no solo, utilizando areia.

Deste modo, os materiais utilizados para moldagem dos tijolos foram solo, areia, resíduo de ETA, Cimento Portland tipo II com adição de escória e resistência mecânica de 32 MPa e água.

### 3.1.1 Solo

A amostra de solo foi doada pela Associação Civil Religiosa São Francisco de Assis (ASFA), por meio de uma jazida de solo argiloso situada no bairro 1º de Maio, na cidade de Ouro Branco, Minas Gerais. Este material já é utilizado para a confecção dos tijolos cerâmicos pelo Projeto do Tijolo Ecológico, que já está em andamento no Campus Alto de Paraopeba/UFSJ.

O processo de preparação do material consistiu no destorroamento do solo, por meio do triturador de solo com motor elétrico de 2 Volts, apresentado na Figura 1, e peneiramento do solo realizado em peneira rotativa com motor elétrico de 0,5 Cavalos-Vapor, com abertura de 4,8 mm, ilustrada na Figura 2.

Figura 1 - Triturador de solo.



Figura 2 – Peneira.



### 3.1.2 Areia

A areia utilizada na composição do tijolo foi doada pela ASFA e foi peneirada manualmente na peneira de abertura 4,8 mm. A Figura 3 mostra a areia disposta antes de ser peneirada.

Figura 3 – Areia.



### 3.1.3 Resíduo da ETA

O Resíduo de ETA utilizado foi da Estação de Tratamento de Água de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, que trata a água pelo ciclo completo utilizando sulfato férrico como coagulante e gera cerca de 300 toneladas de resíduo por ano.

Como ferramenta para drenagem do lodo, a ETA utiliza o *Geotube* que é um tipo de geobag. A Figura 4 apresenta o momento de remoção do lodo para transporte ao aterro sanitário. Pode-se observar o estado em que o lodo se encontra logo após o tratamento de desaguamento.

Figura 4 - Remoção do lodo do *Geotube*.



Para estar em condições de ser incorporado na mistura para moldagem dos tijolos, o resíduo foi submetido a um processo de secagem natural em um ambiente protegido do sol e chuva por 60 dias. A Figura 5 apresenta o estado do material depois do tempo de secagem.

Após a secagem do material ao ar livre, ele foi colocado no aparelho de *Los Angeles* com esferas de ferro para que seus grumos fossem desagregados e, por fim, peneirado manualmente com peneira de abertura 4,8 mm. O estado final do lodo após todo o processo pode ser observado na Figura 6.

Figura 5 - Lodo na umidade higroscópica.



Figura 6 - Lodo destorroado. A imagem mostra uma mão segurando uma quantidade de material granular seco e amarelado, com uma textura mais homogênea e sem grumos visíveis.



### 3.2 Caracterização dos Materiais

A Tabela 1 apresenta os materiais e os ensaios realizados em cada material usado na moldagem do tijolo.

Tabela 1– Ensaios realizados nos materiais.

	Preparo das amostras	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Granulometria	Massa Específica	Sólidos Voláteis (%)
Solo da ASFA	X	X	X	X	X	
Areia da ASFA	X			X	X	
Lodo da ETA	X	X	X	X	X	X

As normas utilizadas para realizar os ensaios foram:

- NBR 6457. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.
- NBR 6459. Determinação do Limite de Liquidez. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.
- NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm – Determinação da massa específica. ABNT: Rio de Janeiro, 1984.
- NBR 7180. Determinação do Limite de Plasticidade. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.
- NBR 7181. Análise Granulométrica. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2012.

Para caracterizar os sólidos voláteis e medir o pH, 10 g do lodo seco e destorroado foram diluídos em 2,2 L de água destilada.

### **3.3 Preparo e moldagem dos tijolos**

Para os procedimentos de moldagem dos tijolos, foram utilizadas as seguintes normas:

- ABCP BT-111 – Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais, 2000.
- NBR 8491 – Tijolo de solo-cimento – Requisitos, 2012.
- NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional. Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio, 2012.
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento, 2012.

A determinação dos traços a serem analisados foi definida por meio das características dos materiais utilizados e do relatório técnico de Paiva (2022). A partir destes dados, optou-se por desenvolver cinco traços diferentes, os quais variou-se quantidade de cimento, lodo, solo e areia em cada traço com o intuito de avaliar o impacto destes materiais nos parâmetros utilizados nas análises dos tijolos

que são: padronização da dimensão dos tijolos, absorção de água e resistência à compressão simples. Na Tabela 2 estão apresentados os traços com suas respectivas proporções de cimento, solo, areia e lodo de ETA.

Tabela 2– Traços moldados.

<b>Identificação do Traço</b>	<b>Traço (Cimento : Solo : Areia : Lodo)</b>
TRAÇO 1	1 : 5 : 4 : 1
TRAÇO 2	1 : 4 : 5 : 1
TRAÇO 3	1 : 2 : 4 : 1
TRAÇO 4	1 : 2 : 3 : 2
TRAÇO 5	1 : 3 : 4 : 1

A moldagem dos tijolos foi realizada na Associação Civil Religiosa São Francisco de Assis (ASFA) de Ouro Branco, todos no mesmo dia. E, conforme o *Weather Spark*, a temperatura variou entre 15 e 25° Celsius e não houve ocorrência de chuva nesse dia.

O procedimento padrão dos traços consistiu na mistura inicial dos materiais secos, com exceção do cimento, os quais foram medidos em volume, com a utilização de baldes, que em seguida foram adicionados à betoneira da marca CSM, que possui capacidade de 400 litros e motor monofásico 220 Volts, ilustrada na Figura 7, por um período de um minuto. Após o tempo de mistura inicial, retirava-se uma amostra de 5 kg de cada traço, que era armazenada em sacos selados para realizar posteriores caracterizações.

Em seguida, era adicionado o cimento na betoneira e misturava-se por mais dois minutos e, finalmente, a água era adicionada em aspersão com a betoneira ligada por mais seis minutos. A quantidade de água era determinada pela consistência da mistura.

A consistência ideal da mistura para moldagem foi determinada, conforme orientação da ABCP BT-111 (2000), tomando uma quantidade da mistura na mão, que foi fechada aplicando pressão. Ao abrir a mão, o material se manteve aglomerado, atribuindo a forma da mão fechada, sem se desfazer. Este aglomerado foi deixado cair no chão a uma altura de aproximadamente 1 m e esfarelado-se, desse modo, era avaliado se a quantidade de água adicionada estava adequada para moldar os tijolos.



Em seguida era realizado a moldagem dos tijolos de cada traço por meio da máquina hidráulica de tijolo ecológico de 12,5 cm x 25 cm, motor monofásico ilustrada na Figura 8.

Figura 7 – Betoneira.



Figura 8 – Máquina hidráulica.



Os tijolos moldados eram dispostos em um ambiente coberto e hidratados por aspersão durante sete dias seguidos, uma vez por dia para garantir a cura. Após a cura dos tijolos, eles eram armazenados por mais sete dias, para poder realizar os testes de qualidade dos tijolos. Do total de 20 tijolos para cada traço, foram separados 10 tijolos de cada um para ensaios de dimensão, destes, 3 direcionados aos testes de absorção e 7 aos de compressão simples.

### 3.3.1 Teste de Retração

As amostras coletadas no dia da moldagem eram utilizadas para realizar o teste da caixa, orientado pela ABCP BT-111(2000). O teste consiste na realização de uma mistura do material com água em consistência de argamassa, o qual é distribuído de forma uniforme em uma caixa de madeira padronizada com dimensões 60,0cm x 8,5cm x 3,5cm, como pode ser observado na Figura 9.

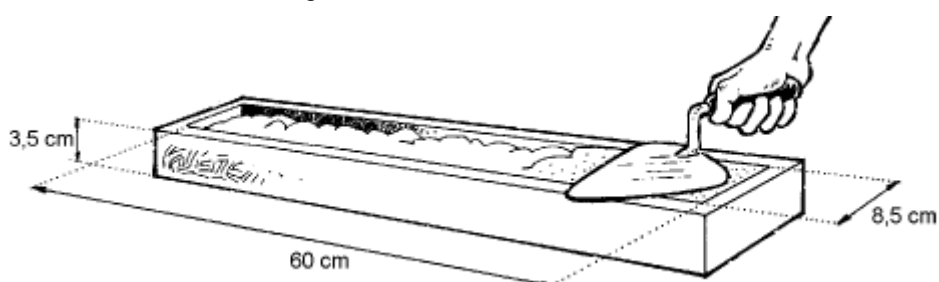
Em seguida, a caixa era erguida em uma das extremidades a 7 centímetros de altura e a extremidade era deixada cair no chão, por dez vezes, esse processo era repetido para outra extremidade da caixa.

A caixa era guardada sob a sombra, ao abrigo de chuva e vento durante sete dias. Após esse período era realizada a medição da retração do material dentro da caixa

com o auxílio do paquímetro ou régua. Para sua aprovação, a retração total da mistura não pode ser superior a 2 cm e nem aparecer trincas na amostra, caso contrário deverá adicionar mais areia na mistura. Todas as misturas, antes da adição de cimento, foram submetidas a este ensaio.

A Figura 10 exemplifica como a caixa deve ser preenchida, e na Figura 11 se encontra a imagem da caixa após os sete dias do preenchimento da caixa.

Figura 9 – Dimensões da Caixa.



Fonte: ABCP BT-111 (2000).

Figura 10 - Como deve ser preenchida a caixa.



Figura 11 - Caixa após 7 dias.



### 3.4 Testes de avaliação da qualidade dos tijolos

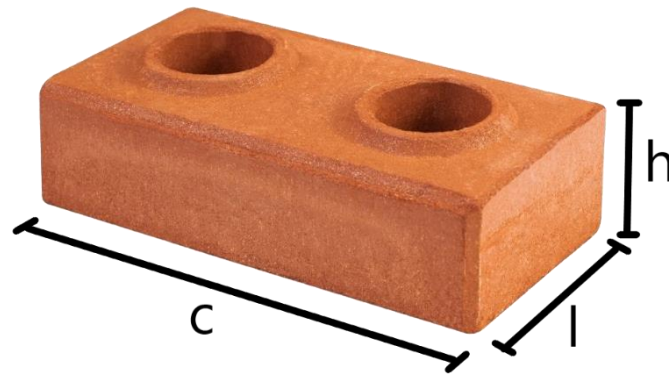
A avaliação da qualidade dos tijolos foi feita por meio de ensaios orientados pela NBR 8492 (2012). A Norma determina que um total de 10 tijolos de cada lote devem ser selecionados para a análise de três parâmetros, quais sejam: i) dimensão; ii) resistência à compressão simples; e iii) absorção de água.

#### 3.4.1 Dimensão

Para avaliar a dimensão dos tijolos foi realizado o ensaio de análise dimensional, que consiste na tiragem de três medidas em cada face dos dez tijolos com exatidão de 0,5 mm.

A dimensão a ser considerada é a média entre as três medições de cada face do tijolo como apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Faces do tijolo.



### 3.4.2 Resistência à compressão simples

A análise da resistência à compressão simples consiste no ensaio com sete tijolos de cada traço. Inicialmente, realizou-se, nos tijolos, o corte na direção da menor seção exatamente na metade da maior seção. Em seguida, as duas metades de cada tijolo eram unidas por uma camada de pasta de cimento Portland e, com essa mesma pasta, era feito o capeamento da base e topo dessa amostra unida. Na Figura 13 está ilustrado os tijolos com suas metades unidas e capeados em sua base e topo.

Figura 13 - Preparação dos tijolos para ensaio de resistência à compressão.



Ao término do capeamento dos tijolos, era necessário que eles ficassem por pelo menos 12 horas à espera do endurecimento da pasta. Após esse período, todas as amostras eram identificadas e submersas em água por um período de 6 horas e



retiradas uma a cada vez, enxugadas com pano úmido e submetidas ao ensaio de resistência à compressão em uma prensa hidráulica.

A prensa hidráulica é eletrônica, da marca Conteco, cujas características são: leitura de 10 em 10 quilograma-força (Kgf), capacidade máxima de 150.000 Kgf e precisão de  $\pm 1\%$  a partir de 10% da escala, para ensaio de compressão axial de corpos de prova de concreto e argamassa. A prensa utilizada está ilustrada na Figura 14.

Figura 14 - Prensa hidráulica.



Os resultados obtidos pela prensa eram obtidos na unidade de tonelada-força (tf) e convertidos por meio da Equação 1, para megapascal (MPa).

$$ft = \frac{F * 9806,6}{S} \quad (1)$$

Onde,

$ft$  é a resistência à compressão simples, em Mega Pascal;

$F$  é a carga de ruptura do corpo de prova, em tonelada-força;

$S$  é a área de aplicação da carga, em  $m^2$ .

### 3.4.3 Absorção

Para realização deste ensaio, os três corpos de prova de cada lote eram colocados, inicialmente, na estufa em temperatura entre 105 °C e 110 °C durante 24 horas e, após este tempo, eram pesados, permitindo a obtenção da massa seca do material. Após pesagem, os corpos de prova eram submersos em água por 24 horas. Depois desse tempo, eram tirados, secados superficialmente e pesados num período não maior que 3 minutos após a retirada da água. A segunda pesagem correspondeu a massa úmida do material, que consiste na massa do tijolo adicionada à massa de água que ocupou seus vazios.

O resultado correspondente à absorção de cada amostra era determinado pela Equação 2.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (2)$$

Onde,

$A$  é a absorção de água, em %;

$m_1$  é a massa do corpo de prova seco em estufa, em gramas (g);

$m_2$  massa do corpo de prova saturado, em gramas (g).

### 3.5 Caracterização das misturas

Todas as misturas foram submetidas aos ensaios:

- NBR 6457. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.
- NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm – Determinação da massa específica. ABNT: Rio de Janeiro, 1984.

A mistura que gerou o tijolo com maior resistência foi submetida aos ensaios de Determinação do Limite de Liquidez e Determinação do Limite de Plasticidade, realizados conforme as normas:

- NBR 6459. Determinação do Limite de Liquidez. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

- NBR 7180. Determinação do Limite de Plasticidade. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2 Caracterização dos materiais

Na Tabela 3 constam os resultados obtidos na caracterização dos materiais usados na moldagem dos tijolos e dos traços desenvolvidos.

Tabela 3– Caracterização dos materiais.

	Limite de Liquidez (%)	Índice de Plasticidade (%)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Granulometria (%)				
				Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa
<b>Solo da ASFA</b>	47,80	18,24	2,85	35,00	38,00	5,50	13,50	8,00
<b>Areia da ASFA</b>		NP	2,73	4,00	6,00	5,50	40,00	44,50
<b>Lodo da ETA</b>		NP	2,95	13,00	68,50	18,50	0,00	0,00
<b>TRAÇO 1</b>	-	-	2,781	-	-	-	-	-
<b>TRAÇO 2</b>	-	-	2,785	-	-	-	-	-
<b>TRAÇO 3</b>	30,80	11,10	2,652	-	-	-	-	-
<b>TRAÇO 4</b>	-	-	2,783	-	-	-	-	-
<b>TRAÇO 5</b>	-	-	2,760	-	-	-	-	-

Considerando as análises de caracterização dos materiais, observou-se que o lodo possui dimensões de grãos semelhantes aos solos silte arenoargilosos e não possui plasticidade. Pôde-se perceber, também, que a massa específica deste material obteve um valor relativamente alto perto dos outros materiais utilizados no traço.

O Traço 3, que possui em sua composição 12,5 % de cimento e a mesma proporção de lodo, possui Limite de Liquidez menor que 45 % e Índice de Plasticidade menor que 18 %, portanto, confere com as recomendações da ABCP BT-111(2000).

O lodo utilizado na moldagem dos tijolos possui  $1.856,67 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos totais,  $1.690,00 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos fixos,  $166,67 \text{ mg.L}^{-1}$  de sólidos voláteis, e pH de 8,85. Deste modo, o lodo é de caráter básico, conferindo o uso de alcalinizantes utilizados na correção do pH e possui, aproximadamente, 8,68 % de matéria orgânica.

O caráter básico do lodo é coerente com a adição de alcalinizante durante o processo de tratamento da água, que tem como função corrigir o pH da água, neutralizando a acidez.

Segundo Mazzeo (2003), solos ácidos dificultam o processo de cura do cimento, portanto, a adição do lodo, que pelos resultados se apresenta como um material de pH básico, não irá prejudicar a cura quando incorporado nos traços dos tijolos.

## 4.2 Testes de avaliação da qualidade dos tijolos

### 4.2.1 Cura

A Figura 15 ilustra a disposição e local que os tijolos ficaram durante o período de cura. Os tijolos foram separados por traço e suas posições foram identificadas.

Figura 15 – Tijolos no período de cura.



### 4.2.2 Teste de retração na caixa

A retração obtida com a pasta de cada um dos cinco traços desenvolvidos está apresentada na Tabela 4. Pode-se observar que quatro, dos cinco traços, obtiveram

valores abaixo de 2,00 cm, estando com o porcentual de areia adequado, sem necessidade de acréscimo.

Tabela 4- Retração.

<b>TRAÇO</b>	<b>RETRAÇÃO (cm)</b>
<b>1</b>	2,10
<b>2</b>	1,57
<b>3</b>	1,23
<b>4</b>	1,22
<b>5</b>	1,48

Constatou-se também que houve um comportamento positivo em relação ao uso do lodo de ETA nos tijolos, pois os tijolos com maior porcentual de lodo, com 12,5 e 25 %, do traço 3 e 4, respectivamente, foram os que obtiveram menores valores no teste de retração na caixa, com 1,23 cm do traço 3 e 1,22 cm para o traço 4.

#### 4.2.3 Teste de dimensão dos tijolos

Os resultados obtidos na medição das amostras, em milímetros, estão resumidos nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 5– Dimensões Traço 1.

<b>TRAÇO 1</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura média (h)</b>	<b>Comprimento médio (c)</b>	<b>Largura média (l)</b>
<b>1</b>	66,14	251,50	125,00
<b>2</b>	67,67	250,26	125,53
<b>3</b>	66,74	250,38	125,39
<b>4</b>	67,78	250,20	125,42
<b>5</b>	66,02	250,24	125,33
<b>6</b>	64,03	249,95	125,07
<b>7</b>	66,49	250,06	125,04
<b>8</b>	66,35	250,32	125,37
<b>9</b>	64,75	250,05	125,22
<b>10</b>	67,02	250,52	125,12

Tabela 6– Dimensões Traço 2.

<b>TRAÇO 2</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura média (h)</b>	<b>Comprimento médio (c)</b>	<b>Largura média (l)</b>
1	67,00	250,48	125,32
2	67,08	250,53	125,22
3	65,88	250,12	125,25
4	66,03	250,19	125,38
5	67,23	250,64	125,22
6	66,73	250,40	125,47
7	67,09	250,40	125,37
8	67,98	250,24	125,26
9	66,59	250,32	125,30
10	66,64	250,53	125,12

Tabela 7– Dimensões Traço 3.

<b>TRAÇO 3</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura média (h)</b>	<b>Comprimento médio (c)</b>	<b>Largura média (l)</b>
1	66,85	250,48	125,32
2	66,58	250,53	125,22
3	67,86	250,12	125,25
4	66,15	250,19	125,38
5	66,94	250,64	125,22
6	65,24	250,40	125,47
7	66,39	250,40	125,37
8	65,23	250,24	125,26
9	68,34	250,32	125,30
10	67,26	250,53	125,12

Tabela 8– Dimensões Traço 4.

<b>TRAÇO 4</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura média (h)</b>	<b>Comprimento médio (c)</b>	<b>Largura média (l)</b>
1	65,26	250,13	124,95
2	65,36	250,12	124,95
3	65,86	250,27	125,08
4	64,33	249,85	124,88
5	63,56	249,81	124,91
6	64,20	249,77	124,98
7	64,03	249,96	124,85
8	66,70	250,09	125,17
9	66,19	250,01	125,23
10	64,16	249,78	124,89

Tabela 9– Dimensões Traço 5.

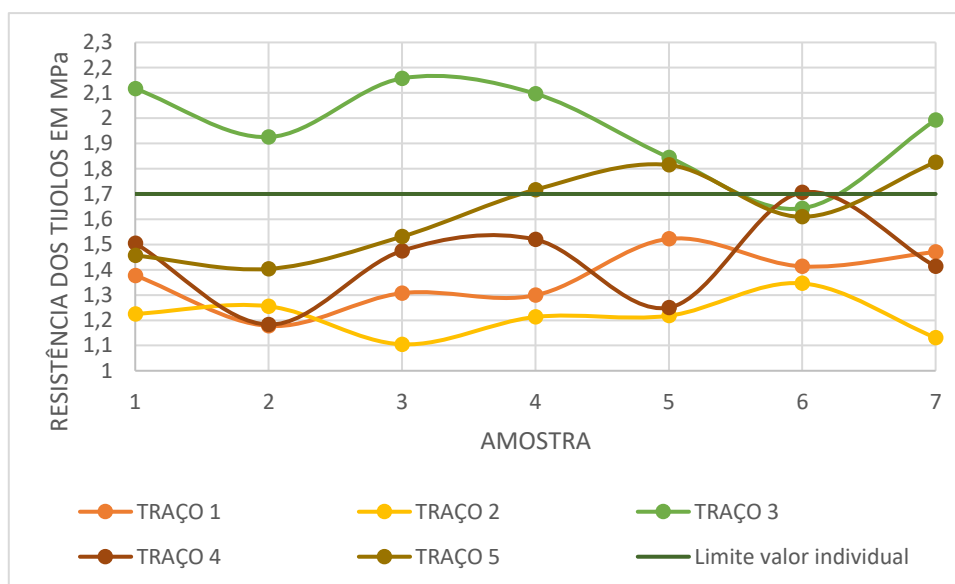
TRAÇO 5			
Amostra	Altura média (h)	Comprimento médio (c)	Largura média (l)
1	64,50	249,78	124,91
2	65,83	249,93	124,90
3	66,49	249,85	125,12
4	64,65	249,75	125,03
5	64,50	249,86	125,02
6	66,03	250,01	125,20
7	64,75	249,93	125,30
8	64,98	249,94	125,17
9	66,68	249,97	125,11
10	66,74	249,99	125,06

Todos os tijolos passaram pelos requisitos de dimensão dados pela NBR 8491 (2012) que permite uma tolerância de  $\pm 1,00$  mm para as dimensões.

#### 4.2.4 Resistência à compressão simples

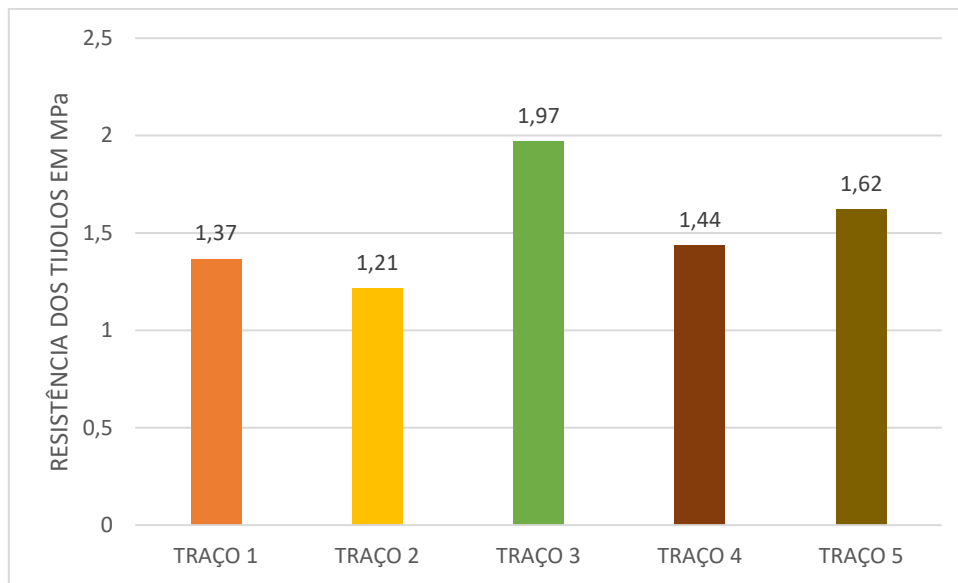
Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples estão resumidos nos Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultado da resistência à compressão simples.



O Gráfico 2 apresenta os resultados da média da resistência à compressão de cada traço.

Gráfico 2 – Resultado da média da resistência à compressão simples.



A partir dos Gráficos 1 e 2 apresentados, foi possível observar que os resultados obtidos não corresponderam às exigências da NBR 8491 (2012), que exige uma média de resistência à compressão mínima de 2,0 MPa e que nenhum valor individual seja menor que 1,7 MPa.

Diante desses resultados, o traço com 12,5 % de cimento e 12,5 % de lodo, traço 3, possuiu apenas uma amostra com resistência menor que a individual exigida e uma média de 1,97 Mpa.

Por meio da análise dos resultados, pôde-se perceber que os tijolos que possuíram maior teor de cimento em sua composição obtiveram melhores resultados em relação à resistência à compressão simples, conforme mostrado nos Gráficos 1 e 2. Apesar disso, foi possível concluir, comparando os traços 3 e 4, que o resíduo foi um fator de redução desse mesmo parâmetro.

#### 4.2.5 Absorção

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos no ensaio de absorção dos tijolos.



Tabela 10– Absorção de água dos tijolos.

<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA EM %</b>					
<b>AMOSTRA</b>	<b>TRAÇO 1</b>	<b>TRAÇO 2</b>	<b>TRAÇO 3</b>	<b>TRAÇO 4</b>	<b>TRAÇO 5</b>
<b>1</b>	18,77	18,53	18,25	22,61	19,61
<b>2</b>	18,75	18,17	17,65	22,62	18,06
<b>3</b>	19,00	18,20	17,89	22,59	17,79
<b>Média</b>	18,84	18,30	17,93	22,61	18,49

Verificou-se que o Traço 4 foi o único que não correspondeu aos requisitos fornecidos pela NBR 8491 (2012) que exige que a média de absorção dos corpos de prova não ultrapasse 20% e que nenhuma amostra possua absorção maior que 22%.

Foi possível observar que a correção da areia também foi um importante fator no comportamento dos tijolos, uma vez que os tijolos do Traço 3, com maior teor de areia, obtiveram uma maior redução da absorção de água.

## **5. CONCLUSÕES**

O Traço 4, com 25 % de lodo, não atendeu aos requisitos de absorção e resistência à compressão estabelecidos pela NBR 8491 (2012).

Contendo 12,5 % de lodo, o Traço 3, atendeu aos requisitos de absorção de água e dimensão, porém, não atendeu ao mínimo exigido de resistência à compressão simples chegando bem próximo de atingir o resultado estabelecido pela NBR 8491 (2012).

Diante dos resultados obtidos percebe-se que o uso de lodo da ETA de Conselheiro Lafaiete, MG, quando incorporado no tijolo solo-cimento, pode ser uma alternativa, não apenas na redução do descarte de resíduos no ambiente, mas também na conferência de menor retração dos tijolos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508:** Grãos de solos que passam na peneira 4,8mm – Determinação da massa específica. ABNT: Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:** Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:** Determinação do Limite de Liquidez. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:** Determinação do Limite de Plasticidade. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:** Análise Granulométrica. ABNT: Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491:** Tijolo de solo-cimento- Requisitos. ABNT: Rio de Janeiro, 2012.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:** Resíduos Sólidos – Classificação. ABNT: Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833:** Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro, 2013.

ACHON, C.L.; BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. (2005) **Desempenho do Leito de Drenagem para Desaguamento de Lodo de ETA que utilizam diferentes coagulantes considerando as variáveis climáticas.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABCP BT-111 - Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais.** São Paulo, 2000.

APHA (2012). **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water works Association, Water Environmental Federation. (2540B-F)

AKAMATSU, C.; ROSS, N. C. M. **Estudo da aplicação para lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos.** Dissertação-Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

BRASIL. Crimes Ambientais: **Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998** – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília-DF, 1998.

BRASIL. Política Nacional do meio Ambiente. **Lei nº 9.433 de janeiro de 1997**. Institui a política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento do Recurso Hídrico. Brasília-DF, 1997.

GERVASONI, R. **Caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo de estações de tratamento de água do estado do paraná**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial, departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba , 2014.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. D. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Brasília: IBGE, 2008. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366?ano=2017>>

LEGNER, C. **Desidratação e secagem do lodo proveniente de ETA e ETE**. Revista TAE, Março 2018. Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/248/desidracao-e-secagem-do-lodo-proveniente-de-eta-e-ete>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2022.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, U. T. G. M; MARTINS, M. C. S.; et al. **Destinações ambientalmente adequadas do resíduo gerado no processo de tratamento de água convencional**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, p. 24041-24057, Março 2021. ISSN: 2525-8761.

MACHADO, A. O.; ARAÚJO, J. A. **Avaliação de tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e da Construção Civil**. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Volta Redonda-RJ, 2014.

MAZZEO, F. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Escola de Engenharia, São Carlos, USP, 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União nº 85, Seção 1, pág. 127, de 07 maio 2021.

Organização das Nações Unidas. **Resolução da Assembléia Geral**. Resolução A/RES/64/292. 28 de Julho de 2010.

PAIVA, Ana Beatriz Silva Paolucci de. **Estudo em escala de bancada para avaliar o uso de resíduo gerado em uma estação de tratamento de água como material para construção civil.** Ouro Branco, 2022.

RIBEIRO, F. L. D. M. **Quantificação e Caracterização Química dos Resíduos da ETA de Itabirito-MG,** 2007. 133 f. Dissertação- Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA; J. N. F.. **Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento.** 2013. Disponível em :<  
<https://www.scielo.br/j/ce/a/sjkRXDdqdfBhT5DnnHBPYzL/?lang=pt#> >. Acesso em: 12/2022.

WALKER, D. D. **Utilização do lodo das estações de tratamento de água na composição de tijolos de solo-cimento.** Dissertação- Universidade Federal de Santa Maria Santa - Centro de Tecnologia. Santa Maria-RS, 2019.