

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENGENHARIA QUÍMICA**

**CLAUDIO AKAMATSU
NATIÉLLI CRISTINA MENDES ROSS**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO PARA LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2017

CLAUDIO AKAMATSU
NATIÉLLI CRISTINA MENDES ROSS

**ESTUDO DA APLICAÇÃO PARA LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS
ECOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento Acadêmico de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli.

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

por

Claudio Akamatsu e Natielli Cristina Mendes Ross

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em **06 de Novembro de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
Prof. Orientadora

Prof. Dr. Ciro Mauricio Zimmermann
Membro titular

Eng^a Civil Patrícia Cristina Buss Wisbiski
Membro titular

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

- A Folha de Aprovação Assinada encontra-se na Coordenação do Curso –

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por nos guiar e iluminar durante toda essa trajetória, colocando pessoas especiais que puderam cooperar nesta jornada.

A nossa família, que mesmo distante, sempre nos apoiou e acreditou no nosso potencial, não medindo esforços para que estivéssemos aqui.

Agradecemos em especial a nossa orientadora Prof^a Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli, por toda orientação, incentivo, paciência e dedicação durante este trabalho.

A Sanepar do município Ponta Grossa, por ter cedido o lodo para a realização deste estudo.

Agradecemos imensamente ao Maquir, pelos sábios conselhos durante o processo de fabricação dos tijolos e doação de material.

A Prof^a. Sandra Mara Kaminski Tramontin, por todo auxílio no laboratório de ensaios mecânicos, pela orientação e pelos conselhos.

Ao técnico de laboratório Luciano Tozzeto e aos professores Ciro Maurício Zimmermann e Matheus Pereira Postigo, pelo apoio e paciência durante o estudo, pelo acesso as instalações e equipamentos.

A equipe de jardinagem, construção e elétrica, em especial ao Sr. Marcelo Luiz Tybuszeusky, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* Ponta Grossa, pelo auxílio durante todo o projeto.

A nossa grande amiga Naray Pereira dos Santos, a sua contribuição e apoio foi essencial. E ao nosso amigo Leonardo Henrique Santos Gomes pelo apoio e incentivo.

A todos, um muito obrigado.

RESUMO

AKAMATSU, Claudio; ROSS, Natiéli C. M. **Estudo de aplicação de lodo de estação de tratamento de água na produção de tijolos ecológicos**. 2017. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

O acelerado crescimento urbano faz com que haja cada vez mais demanda de recursos naturais, principalmente os hídricos. As estações de tratamento de água no Brasil fazem uso de um processo convencional para o tratamento de água, transformando a água que não é própria para consumo em água potável, após a mesma ser submetida as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, respectivamente. Todavia, este processo apresenta como resíduo o lodo. O lodo de ETA possui muitos elementos químicos tais como o alumínio, ferro, silício, titânio, magnésio e sólidos orgânicos, que se forem descartados de maneira incorreta, podem impactar negativamente tanto a vida humana como o meio ambiente. Uma alternativa para a solução deste problema é o emprego do lodo gerado em aplicações industriais. O presente trabalho busca avaliar a aplicação do lodo na indústria de construção civil através da fabricação de tijolo ecológico. A proposta consiste na aplicação do lodo como substituto parcial do solo na fabricação do tijolo, este seria constituído por areia, solo, lodo e cimento. Os corpos de prova foram fabricados com base em informações obtidas na literatura. A avaliação dos mesmos foi realizada de acordo com a normativa brasileira após a realização de ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Os tijolos apresentaram elevada absorção de água, em decorrência da sua porosidade, embora, neste aspecto, se enquadrassem dentro dos limites estabelecidos pela norma (NBR 8492:2012). Entretanto, os mesmos não atingiram resistência mínima de compressão estabelecida pela norma NBR 8491:2012, provavelmente devido à alta porosidade dos tijolos, sendo as amostras rejeitadas para aplicação.

Palavras-chaves: Estação de Tratamento de Água. Resíduo. Lodo. Construção Civil. Tijolo Ecológico.

ABSTRACT

AKAMATSU, Claudio; ROSS, Natiéli C. M. **Study of application of sludge from water treatment plant in the production of ecological bricks.** 2017. 55 f. Final Year Project (Bachelor's Degree in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2017.

The accelerated growth of the urban population has caused an increase in demand natural resources, mainly water resources. Water treatment plants in Brazil use a conventional process for the treatment of water, turning water that is not suitable for consumption in drinking water, after which it is submitted to coagulation, flocculation, decantation, filtration, disinfection and fluoridation, respectively. However, this process presents as a residue the sludge. ETA sludge has many chemical elements such as aluminum, iron, silicon, titanium, magnesium and organic solids which, if discarded incorrectly, can negatively impact both human life and the environment. An alternative to solving this problem is the use of sludge generated in industrial applications. The present work seeks to evaluate the application of sludge in the civil construction industry through the manufacture of ecological brick. The proposal consists of the application of sludge as a partial substitute for the soil in the manufacture of the brick, which would consist of sand, soil, sludge and cement. The specimens were fabricated on the basis of the informations obtained in the literature. The evaluation of the same were determined according to Brazilian regulations after the tests of resistance to compression and water absorption. The bricks showed high water absorption, due to their porosity, although in this respect, they fit within the limits established by the norm (NBR 8492:2012). However, they did not reach the minimum compression strength established by the norm NBR 8492:3012, probably due to the high porosity of the bricks, being the samples rejected for application.

Key-words: Water Treatment Plant. Residue. Sludge. Construction. Ecologic brick.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de Tratamento de Água convencional.....	12
Figura 2 - Camadas filtrantes	14
Figura 3 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos	20
Figura 4 - Lodo depois de seco	26
Figura 5 - Local de coleta da terra.....	26
Figura 6 - Saibro utilizado	27
Figura 7 - Preparação da mistura.....	28
Figura 8 - Verificação da umidade ideal da mistura	29
Figura 9 - Formação de um bolo com a marca dos dedos	29
Figura 10 - Prensa manual para produção de tijolos ecológicos	30
Figura 11 - Tijolos armazenados para o processo de cura	30
Figura 12 - Ilustração representando a preparação do corpo de prova.....	32
Figura 13 - Ilustração representando o corpo de prova sendo submetido ao ensaio de resistência à compressão.....	33
Figura 14 – Lodo coletado da estação de tratamento de água	36
Figura 15 – Tijolo do lote da mistura 1 sem grânulos de lodo visíveis	44
Figura 16 – Tijolo do lote da mistura 3 com grânulos de lodo visíveis	45
Figura 17 – Tijolos após o ensaio de resistência à compressão	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características típicas do lodo de sulfato de alumínio	15
Tabela 2 - Características típicas do lodo de coagulantes férricos	15
Tabela 3 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro	16
Tabela 4 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de Alagados e Pitangui no período seco em triplicata	17
Tabela 5 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de Alagados e Pitangui no período chuvoso em triplicata.....	17
Tabela 6 - Características físicas e químicas de amostras dos lodos das ETAs de São Carlos e Araraquara, coletadas no período chuvoso	18
Tabela 7 - Características físicas e químicas de amostras dos lodos das ETAs de São Carlos e Araraquara, coletadas no período seco.....	18
Tabela 8 - Proporção das misturas a serem estudadas (% em massa)	28
Tabela 9– Valores da análise de sólidos totais	35
Tabela 10 – Valores das dimensões dos tijolos de referência.....	37
Tabela 11 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 1	37
Tabela 12 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 2.....	38
Tabela 13 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 3.....	38
Tabela 14 - Tipos e dimensões nominais de tijolo solo-cimento	39
Tabela 15 – Absorção de água das amostras	40
Tabela 16 – Média da absorção de água das misturas.....	40
Tabela 17 – Valores das resistências à compressão dos tijolos de referência.....	41
Tabela 18 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 1	42
Tabela 19 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 2.....	43
Tabela 20 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 3.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aparência do lodo de ETA de acordo com a concentração de sólidos ...23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Absorção média de água nos tijolos	41
Gráfico 2 - Resistência à compressão média para cada composição	45

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNTAC	Fundação de Tecnologia do Estado do Acre
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira Registrada
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	12
2.1.1 Processo de Tratamento de Água	13
2.2 LODO.....	14
2.3 APLICAÇÕES DO LODO DE ETA.....	21
2.3.1 Tijolo Ecológico.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 LODO.....	25
3.2 ANÁLISE DE SÓLIDOS TOTAIS DO LODO.....	25
3.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO	25
3.3.1 Preparação do solo e do lodo	25
3.3.2 Especificação do cimento	27
3.3.3 Especificação da água.....	27
3.3.4 Fabricação	27
3.4 REQUISITOS FÍSICO-MECÂNICOS	31
3.4.1 Requisitos Específicos.....	31
3.5 ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS	31
3.5.1 Análise dimensional	31
3.5.2 Ensaio à compressão simples	31
3.5.3 Ensaio de absorção de água	33
4 RESULTADOS	35
4.1 ANÁLISES DE SÓLIDOS TOTAIS.....	35
4.2 DIMENSÕES	37
4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	39
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	41
5 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa (IBGE, 2016) a população da cidade de Ponta Grossa teve um aumento de 9,45% entre os anos de 2010 e 2016, sendo a quarta maior cidade do estado do Paraná em número de habitantes, com uma quantidade de moradores de 341.130. Esse grande número de pessoas e o crescimento contínuo faz com que haja cada vez mais demanda de recursos naturais, principalmente hídricos.

As estações de tratamento de água (ETA) no Brasil utilizam um processo convencional para o tratamento de água, transformando a água que não é própria para consumo em água potável, onde ela passa pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Porém, nesse processo é gerado como resíduo o lodo de ETA.

Este lodo é uma massa constituída de materiais orgânicos e inorgânicos, e devido ao seu alto teor de umidade possui uma consistência pastosa. Como consequência do processo de tratamento de água, ele possui muitos elementos químicos como o alumínio, ferro, silício, titânio, magnésio e sólidos orgânicos que se descartados incorretamente geram impactos negativos para a vida humana e para o meio ambiente em geral (TARTARI, DIAZ-MORA, MÓDENES, PIANARO, 2011).

Portanto, é de vital importância ter conhecimento das características físico-químicas do resíduo que é gerado nas ETAs possibilitando o correto descarte, sem que haja impactos negativos ao meio ambiente.

Existem normas técnicas e resoluções que podem ser usadas para classificar, analisar e determinar a forma de descarte de resíduos sólidos. A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica o lodo de acordo com sua periculosidade e solubilidade, enquanto que a NBR 10664/1989 define o método de análise de tais resíduos. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2005), em sua resolução nº 357, determina a forma em que resíduos sólidos devem ser descartados em corpos d'água.

Muitos estudos vêm sendo feitos em relação a métodos alternativos de destinação do lodo de ETA, visto que a reutilização desse sólido poluente pode trazer vantagens econômicas, ambientais e sociais, não só para a empresa produtora, mas também para comunidade que consome sua água tratada.

As principais alternativas sugerem sua utilização na construção civil, ao ser incorporado na fabricação de tijolos, e na recuperação de solos degradados.

Sabendo-se dos impactos ambientais negativos que o lodo de ETA pode gerar e da necessidade de métodos alternativos para sua destinação final, estabeleceu-se o seguinte problema: o lodo produzido na ETA Alagados/Pitangui em Ponta Grossa pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação de tijolo ecológico?

A hipótese é de que o lodo possa ser incorporado na fabricação do tijolo agindo como um substituo parcial do solo, tal hipótese será verificada ao se produzir tijolos em prensa manual e através de testes de compressão mecânica do tijolo produzido.

Esta pesquisa possui grande relevância econômica e ambiental pois a utilização do lodo representa uma alternativa de menor custo para a fabricação de tijolo além de promover uma diminuição de descarte de resíduos sólido no meio ambiente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o reaproveitamento e incorporação de lodo de ETA na produção de tijolo ecológico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a proporção de lodo necessário para a produção de tijolo ecológico em relação a outras matérias-primas;
- Estudar as características físico-mecânicas dos tijolos produzidos.

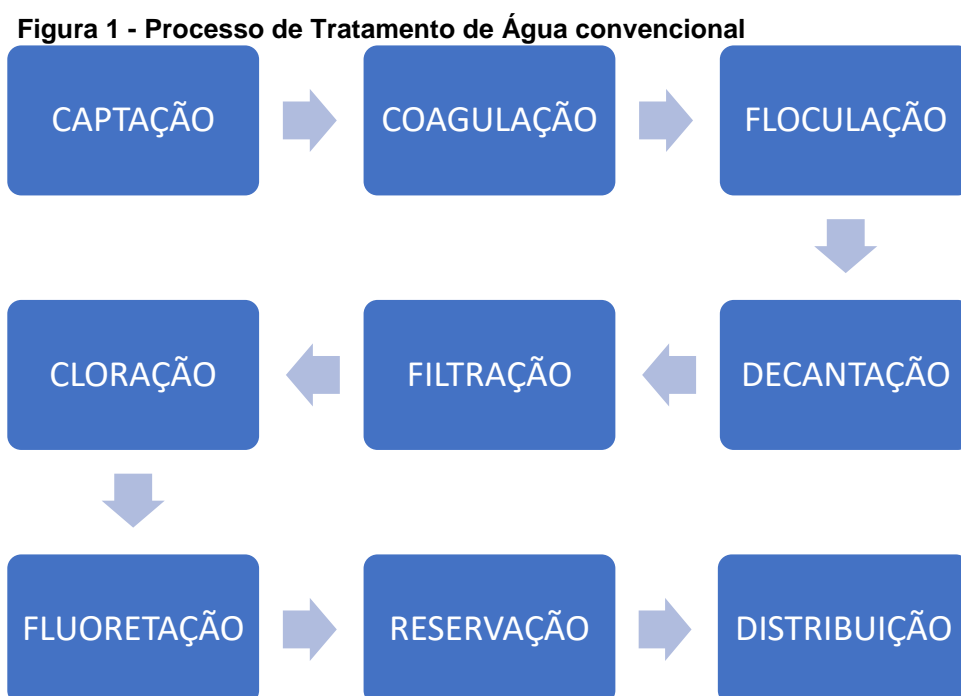
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Para que a água captada de rios e mananciais se transforme em água própria para consumo, ela passa por processos de purificação em estações de tratamento de água (ETA).

Dados mostram que a SANEPAR, empresa responsável pelo tratamento e distribuição de água e esgoto em 345 municípios no estado do Paraná e um em Santa Catarina, atendeu no ano de 2014 cerca de 10,8 milhões de habitantes, gerando um consumo médio de 131,1 litros / habitante / dia.

Segundo Andrade (2016), no Brasil as ETAs são do tipo convencional ou de ciclo completo onde a água bruta passa pelos processos de captação, coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração, fluoretação, reservação e distribuição. Este processo de tratamento de água do tipo convencional está representado na Figura 1.



Fonte: SABESP (2016)

2.1.1 Processo de Tratamento de Água

No município de Ponta Grossa, no estado do Paraná, a água a ser tratada é captada do Rio Pitangui e Alagados (SANEPAR, 2016).

Durante a etapa de coagulação, é adicionado a água bruta o policloreto de alumínio. Para que as partículas de poluentes sólidos fiquem mais fáceis de serem agregadas, é feita uma agitação turbulenta da água fazendo com que as partículas fiquem eletricamente desestabilizadas (RICHTER, 2009).

Na floculação, a água passa por uma agitação lenta para promover a união das partículas de poluentes sólidos, gerando os flocos (CORSAN, 2016).

Nos tanques de decantação, a água é mantida estática para que os flocos de poluentes precipitem no fundo dos tanques. É nessa etapa em que há a produção de lodo, o principal resíduo sólido do processo. A água limpa é conduzida para a etapa de filtração enquanto o lodo é conduzido para tanques de depuração (SABESP, 2016).

Dependendo da natureza físico-química da água bruta, da eficiência hidráulica das unidades de processo e do tipo de dose de coagulante aplicado, de 60% a 95% do lodo gerado é acumulado nos tanques de decantação, e o restante, nos filtros (RICHTER, 2009).

Seguindo para a fase de filtração, a água passa por tanques onde há camadas de pedra, areia e carvão antracito. Essas camadas são chamadas de meios filtrantes e fazem com que a sujeira residual seja retida (RICHTER, 2009).

Terminando a etapa de filtração, a água se torna clarificada, porém ainda não está própria para consumo, devendo passar pelas etapas de desinfecção (cloração e fluoretação) para que seja feita a eliminação parcial de microrganismos.

Figura 2 - Camadas filtrantes

Fonte: Purosystems (2016)

A cloração consiste na adição de cloro líquido a água clarificada para promover a eliminação de bactérias e vírus. Silva e Daniel (2015) afirmam em seu artigo que “a cloração é, mundialmente, o método mais utilizado no processo de desinfecção de águas”.

A fluoretação é a última etapa do tratamento da água, sendo opcional, onde é adicionado flúor na água para promover a redução do índice de cárie na população (SABESP, 2016).

2.2 LODO

Achon e Cordeiro (2013) afirmam em seu trabalho que as características dos resíduos gerados durante o processo de tratamento de água dependem da tecnologia de tratamento adotada, forma de remoção, operação de limpeza das unidades e tempo de acúmulo.

O lodo é classificado por Richter (2009) de acordo com o coagulante utilizado no tratamento da água bruta, podendo ser lodo de sulfato de alumínio ou lodo de coagulantes férricos, cada um com diferentes composições.

O lodo de sulfato de alumínio é um líquido não newtoniano, gelatinoso, cuja fração de sólidos é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, coloides de cor e outros resíduos orgânicos, inclusive bactérias e outros organismos removidos no processo de coagulação (RICHTER, 2009).

As características típicas de um lodo de sulfato de alumínio são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características típicas do lodo de sulfato de alumínio

Sólidos totais (%)	Coagulante (%)	Inorgânicos (%)	Matéria orgânica (%)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
0,1-4	15-40	35-70	15-25	6-8	30-300	30-5.000

Fonte: RICHTER (2009)

O lodo proveniente de processos que utilizam coagulantes férricos no tratamento de água bruta apresenta características que se assemelham ao lodo de sulfato de alumínio, diferindo apenas na composição e no potencial hidrogeniônico (pH). As características típicas do lodo de coagulantes férricos são resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características típicas do lodo de coagulantes férricos

Sólidos totais (%)	Fe (%)	Voláteis (%)	pH
0,25-3,5	4,6-20,6	5,1-14,1	7,4-9,5

Fonte: RICHTER (2009)

Cordeiro (2001) ao analisar os aspectos físico-químicos do lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro mostra que o resíduo gerado por cada ETA possui características diferentes que diferem entre si. Estas características influenciam no impacto ambiental gerado, nas técnicas de remoção e na sua possível reutilização. Portanto há uma necessidade de estudos individuais para se caracterizar os lodos provenientes de ETAs. Os dados obtidos por Cordeiro são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro

Parâmetros	ETA – São Carlos	ETA - Araraquara	ETA – Rio Claro
Conc. De Sólidos (%)	4,68	0,14	5,49
pH	7,2	8,93	7,35
Cor (U.C.)	4.300.000	10.650	250.000
Turbidez (U.T.)	800.000	924	36.000
DQO (mg/L)	4.800	140	5.450
Sólidos totais (mg/L)	58.630	1.620	57.400
Sólidos suspensos (mg/L)	23.250	775	15.330
Sólidos dissolvidos (mg/L)	32.110	845	42.070
Alumínio (mg/L)	11.100	2,16	30
Zinco (mg/L)	4,25	0,10	48,53
Chumbo (mg/L)	1,60	0,00	1,06
Cádmio (mg/L)	0,02	0,00	0,27
Níquel (mg/L)	1,80	0,00	1,16
Ferro (mg/L)	5.000	214	4.200
Manganês (mg/L)	60,00	3,33	30
Cobre (mg/L)	2,06	1,70	0,091
Cromo (mg/L)	1,58	0,19	0,86

Fonte: Cordeiro (2000)

Gervasoni (2014), em seu estudo sobre a caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo, selecionou 44 ETAs no estado do Paraná onde coletou amostras de lodo. As estações de tratamento de água foram selecionadas de acordo com região geológica, tipo de solo, bacia hidrográfica, entre outros requisitos. O autor coletou amostras em períodos chuvosos e de estiagem e analisou os seguintes parâmetros: metais, série de sólidos, DQO, DBO, pH e índices microbiológicos. Os resultados obtidos por Gervasoni em relação a ETA Pitangui e Alagados estão expressos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de Alagados e Pitangui no período seco em triplicata

Parâmetros	Alagados			Pitangui		
	1	2	3	1	2	3
pH	6,67	6,56	6,70	6,80	6,80	6,80
DQO (mg/L)	162	365	288	3141	3637	3772
Sólidos totais (%)	0,78	0,65	0,78	1,04	1,04	1,04
Sólidos fixos (%)	0,48	0,40	0,48	0,64	0,64	0,64
Sólidos voláteis (%)	0,30	0,25	0,30	0,40	0,40	0,40

Fonte: Gervasoni (2014)

Tabela 5 - Parâmetro físico-químicos para o lodo das ETAs de Alagados e Pitangui no período chuvoso em triplicata

Parâmetros	Alagados			Pitangui		
	1	2	3	1	2	3
pH	6,77	6,87	6,72	6,86	6,80	6,88
DQO (mg/L)	295	301	288	5950	6076	5673
Sólidos totais (%)	0,08	0,07	0,08	1,06	1,00	1,16
Sólidos fixos (%)	0,50	0,50	0,50	0,66	0,60	0,69
Sólidos voláteis (%)	0,03	0,02	0,03	0,40	0,40	0,47

Fonte: Gervasoni (2014)

Já Barbosa (2002), em seu estudo, comprova que o clima gera variações nas características físico-químicas dos lodos. A autora coletou amostras de resíduos das ETAs de São Carlos e Araraquara em períodos chuvosos e períodos secos e comparou os resultados. As variáveis pH, turbidez, sólidos (totais e suspensos), demanda química de oxigênio (DQO) e nitrogênio foram as que apresentaram variações significativas. O aumento da concentração de sólidos totais nos períodos chuvosos se deu pelo maior arraste de materiais gerado pelas correntes de água dos rios.

Os resultados das análises do lodo das ETAs no período chuvoso são apresentados na Tabela 6, e os resultados no período seco, na Tabela 7.

Tabela 6 - Características físicas e químicas de amostras dos lodos das ETAs de São Carlos e Araraquara, coletadas no período chuvoso

Parâmetro (unidade)	Lodo	
	ETA – São Carlos	ETA - Araraquara
pH	10,6	9,8
Condutividade (S/cm)	168,0	59,0
Turbidez (Ut)	4.500	71.300
Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,7	8,3
Temperatura (°C)	24,7	22,9
Sólidos totais (mg/L)	5.074	52.345
Sólidos totais fixos (mg/L)	3.878	39.075
Sólidos totais voláteis (mg/L)	1.196	13.270
Sólidos suspensos (mg/L)	4.600	50.920
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	3.960	39.910
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	640	11.010
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	825	700
DQO (mg/L)	558	20.500
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	81,32	68,48
Nitrogênio total (mg/L)	1,15	19,90
Fósforo total (mg/L)	33,30	75,22

Fonte: Barbosa (2002)

Tabela 7 - Características físicas e químicas de amostras dos lodos das ETAs de São Carlos e Araraquara, coletadas no período seco

Parâmetro (unidade)	Lodo	
	ETA – São Carlos	ETA - Araraquara
pH	6,8	6,2
Condutividade (S/cm)	154,7	166,0
Turbidez (Ut)	897	49.200
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,3	6,0
Temperatura (°C)	19,2	21,5
Sólidos totais (mg/L)	2.132	29.595
Sólidos totais fixos (mg/L)	1.510	22.207
Sólidos totais voláteis (mg/L)	622	7.388
Sólidos suspensos (mg/L)	2.110	14.633
Sólidos suspensos fixos (mg/L)	1.790	11.033
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	320	3.600
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	730	850
DQO (mg/L)	238	11.380
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	54,08	93,60

Nitrogênio total (mg/L)	0,17	6,90
Fósforo total (mg/L)	51,86	54,06

Fonte: Barbosa (2002)

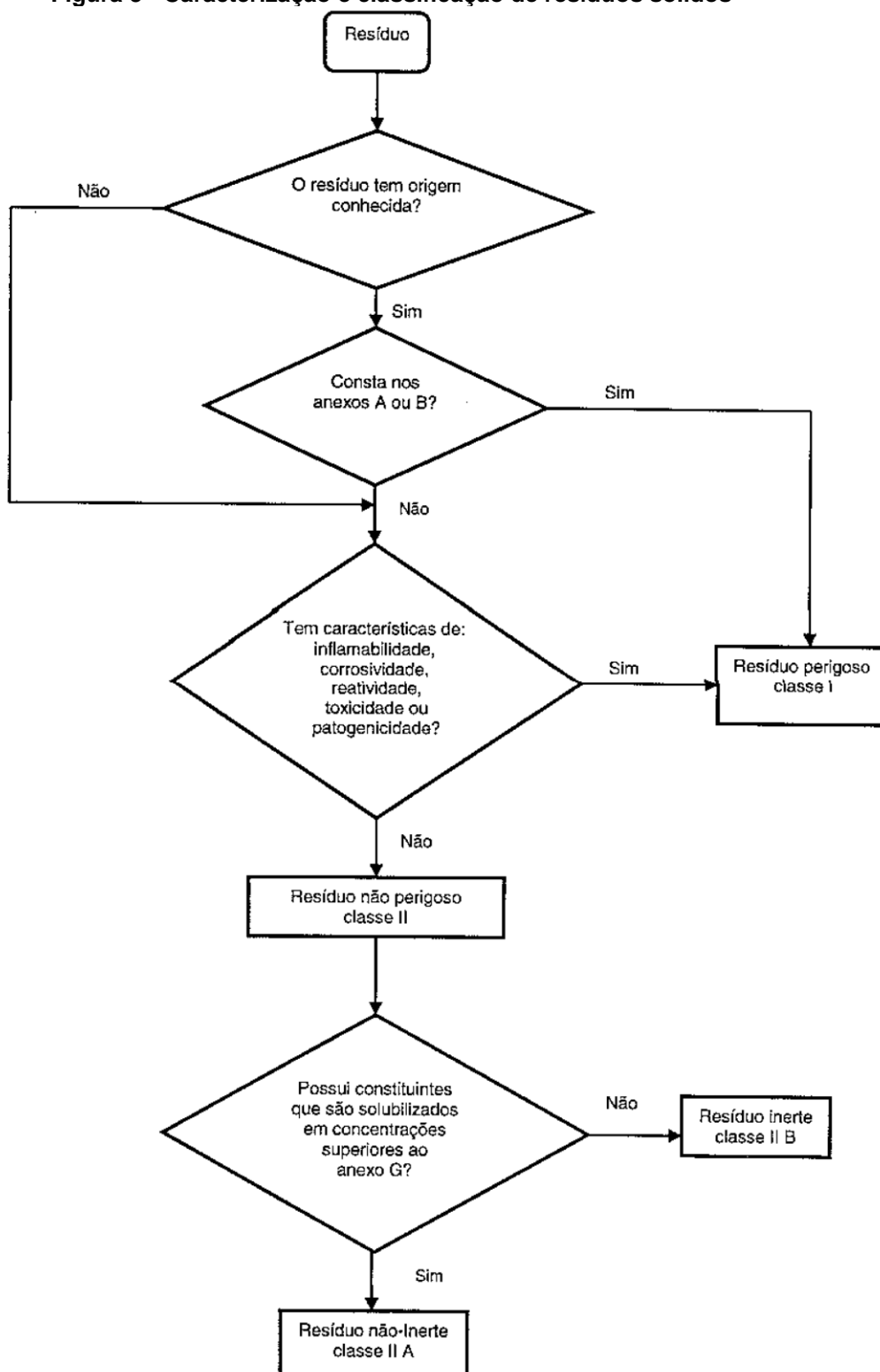
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), utilizando a NBR 10.004 (2004), classifica o resíduo proveniente das estações de tratamento de água como resíduo sólido e sua classe depende de sua periculosidade e solubilidade. Resíduos não perigosos são aqueles que não possuem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ABNT, 2004).

Ficam incluídos nesta definição (de resíduos sólidos) os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

O processo de caracterização e classificação dos resíduos sólidos feito pela norma NBR 10.004 é apresentado na Figura 3.

Resíduos de classe I são aqueles que apresentam periculosidade. Resíduos classe II-A são aqueles que não apresentam periculosidade mas possuem características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Enquanto que os resíduos de classe II-B, além de não possuir propriedades perigosas, não possuem “nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água” (ABNT, 2004).

Figura 3 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos



Fonte: ABNT (2004)

Barrosa (2001) defende em seu estudo que os coagulantes de alumínio e de ferro utilizados no processo de tratamento da água podem fazer com que o lodo

possua toxidade em relação a organismos aquático sendo prejudicial ao meio ambiente. Segundo a autora, o lodo além de possuir metais em sua composição, também apresenta uma alta demanda química de oxigênio (DQO), turbidez elevada, alta concentração de sólidos o que pode causar impactos negativos como assoreamento e alteração química do curso d'água.

No Brasil, as estações de tratamento de água devido ao seu potencial poluidor estão sujeitas a Lei 9.433/1997, Lei 9.605/1998 e a Resolução Nº 237/1997 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (ACHON, 2015).

A Lei 9.433/1997, entre outras coisas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Já a Lei 9.605/1998 “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente” (BRASIL, 1998). E a Resolução Nº 237/1997 do CONAMA “regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente” (BRASIL, 1997).

Entretanto, a maioria das ETAs no país foram projetadas e construídas antes da implementação dessas leis e resolução fazendo com que não houvesse um planejamento em relação ao descarte e destinação final do lodo produzido (ACHON, 2013). Devido a isso o número de estudo que visam dar uma destinação alternativa a esses resíduos vem aumentando nos últimos anos.

2.3 APLICAÇÕES DO LODO DE ETA

Hoppen et al. (2006) afirma em seu trabalho que “no estado do Paraná são produzidos, aproximadamente, 4.000 t/mês em matéria seca deste lodo, sendo que, mais de 50% é oriundo da cidade de Curitiba”.

Por consequência do aumento contínuo da produção de lodo de ETA e de acordo com as normas legislativas que visam o controle e diminuição de resíduos e a reutilização benéfica do lodo de ETA, estão sendo feitos vários estudos nos últimos anos para a reutilização deste resíduo (MOGHADDAM, 2010).

De acordo com Medeiros et al (2010), a incorporação de resíduos em novos produtos representa novas oportunidades de negócios se puderem ser comprovadas a qualidade dos produtos

Pode se citar o uso de lodo de ETA na construção civil como substituo parcial ou integral do solo utilizado na fabricação de tijolos, disposição em aterros sanitários, recuperação de coagulantes e recuperação de solos degradados.

Silva et al. (2005) realizou um estudo onde se avaliou “o efeito da aplicação de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em solo degradado pela mineração de cassiterita na Floresta Nacional do Jamari, RO”. O estudo avaliou a fertilidade do solo e o conteúdo de micronutrientes após a aplicação controlada do lodo e os resultados mostraram que o método é viável pois o lodo aumentou o pH do solo degradado e também os teores de cálcio e ferro.

Outro estudo, cujo objetivo era promover a recuperação do coagulante presente no lodo de ETA através da acidificação do lodo, mostrou que o coagulante recuperado possui um desempenho satisfatório quando utilizado no tratamento de esgoto (SILVA et al, 2005).

Com respeito à avaliação econômica, foi verificado que considerando as reduções de custos decorrentes da diminuição de lodo a ser tratado e disposto, o custo de produção do coagulante regenerado é muito próximo ao custo do coagulante comercial. Portanto, concluiu-se que hoje em dia essa tecnologia deve ser considerada como uma alternativa potencialmente viável dos pontos de vista técnico e econômico para o tratamento e reaproveitamento de lodo de ETA's (SILVA et al., 2005).

Outra utilização para o lodo muito estudada é sua incorporação na fabricação de tijolo solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico por gerar impactos ambientais negativos inferiores aos que são gerados pelos tijolos convencionais.

As vantagens na incorporação do lodo de ETA para fabricação dos tijolos são numerosas, entre elas, o aumento na vida útil das jazidas de argila, a redução do custo de reposição de vegetação, a disposição mais barata e adequada, diminuindo a poluição dos corpos hídricos e reduzindo a utilização de matéria prima (MACHADO; ARAÚJO, 2014).

2.3.1 Tijolo Ecológico

De acordo com a fabricante de tijolo ecológico BIOBLOC (2016) as primeiras pesquisas registradas sobre o tijolo ecológico, cujo nome técnico é tijolo solo-cimento

ou tijolo modular, em 1935 nos Estados Unidos. Enquanto que no Brasil, as pesquisas começaram a partir dos anos 1960.

O tijolo solo-cimento é um material endurecido formado pela prensagem manual ou hidráulica e cura de uma mistura homogênea de areia, terra (argila), cimento Portland e água em proporções adequadas. Após o processo de cura, o tijolo solo-cimento deve cumprir requisitos de qualidades e especificações técnicas como absorção de água, resistência à compressão e durabilidade (SIQUEIRA et al., 2015).

Para Siqueira e Holanda (2015) o tijolo solo-cimento é um material de construção atraente por causa de seu baixo custo de fabricação. O processo de produção desse tipo de tijolo elimina o passo de queima, que gera um alto consumo de energia.

Em relação a sua aplicação, Rodrigues e Holanda (2013) citam como vantagem da utilização de tijolo solo-cimento o bom desempenho termo acústico, a durabilidade e seu formato auto encaixável, o que diminui a necessidade de acabamento.

A composição físico-química do lodo de ETA faz com que ele seja visado como material para fabricação dos tijolos, visto que suas características podem se assemelhar à argila, principal matéria-prima da fabricação de tijolos solo-cimento. A grande quantidade de lodo gerada por ano pode diminuir significativamente a utilização de argila e os impactos ambientais negativos causados por sua extração.

Entre os impactos ambientais negativos gerados pela extração de argila, Portela e Gomes (2008) citam o desmatamento da vegetação nativa, a poluição do ar e o esgotamento das jazidas de argila.

Quadro 1 - Aparência do lodo de ETA de acordo com a concentração de sólidos

Concentração de sólidos (%)	Aparência do lodo
0-5	Líquido
8-12	Esponjoso, semi-sólido
18-25	Argila ou barro suave

Fonte: Richter (2009).

A ABNT define através de normas os requisitos técnicos que um tijolo-ecológico deve possuir para que ele proporcione segurança para a obra.

ABNT NBR 8491:2012 - Esta Norma estabelece os requisitos para o recebimento de tijolos de solo-cimento: esta Norma se aplica aos tijolos de solo-cimento destinados à execução de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil (ABNT, 2016).

ABNT NBR 10833:2012 Versão Corrigida:2013 - Fabricações de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento: esta Norma estabelece os requisitos para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento em prensa manual ou hidráulica (ABNT, 2016).

ABNT NBR 8492:2012 - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio: esta Norma estabelece o método para análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água em tijolos de solo-cimento para alvenaria sem função estrutural (ABNT, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LODO

As amostras de lodo foram coletadas da Estação de Tratamento de Água Alagados/Pitangui da SANEPAR, localizada no município de Ponta Grossa, estado do Paraná.

3.2 ANÁLISE DE SÓLIDOS TOTAIS DO LODO

A caracterização de sólidos totais foi feita utilizando o Método gravimétrico descrito na norma ABNT NBR 10.664/1989. Neste método, uma porção homogeneizada da amostra é transferida para uma cápsula de evaporação previamente tarada, evaporada em banho maria e seca em estufa. A diferença entre a massa da cápsula contendo o resíduo seco e a massa da cápsula vazia corresponde ao resíduo total.

3.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO

Para a fabricação do tijolo ecológico, foi utilizada a metodologia descrita na Cartilha Para Produção de Tijolo Solo-Cimento publicada pela FUNTAC (Fundação de Tecnologia do Estado do Acre) (1999) e seguindo a norma ABNT NBR 10.833:2012, referente à fabricação de tijolo e bloco solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. O método foi adaptado considerando a utilização de lodo de ETA como substituto parcial do solo.

3.3.1 Preparação do solo e do lodo

O lodo utilizado na fabricação como substituto parcial foi seco a 110 °C durante 48 h, depois será destorroado e peneirado em uma malha com abertura de 4,8 mm.

Figura 4 - Lodo depois de seco

Fonte: autoria própria (2017)

O solo, coletado na região de Ponta Grossa (PR), apresenta coloração avermelhada e aspecto argiloso. Este material foi seco em estufa a 110 °C por 48 h, depois foi peneirado em uma malha com abertura de 4,8 mm.

A areia utilizada foi um saibro proveniente de jazidas de granizo de Ponta Grossa (PR), com coloração amarelada e partículas sensorialmente grossas. O saibro utilizado na confecção foi seco com auxílio de uma frigideira, devido à baixa umidade do mesmo, e em seguida, peneirados em uma malha com abertura de 4,8 mm.

Figura 5 - Local de coleta da terra

Fonte: autoria própria (2017)

Figura 6 - Saibro utilizado



Fonte: autoria própria (2017)

3.3.2 Especificação do cimento

De acordo com a NBR 10.833:2012 foi utilizado cimento Portland CP-II-F-32 da marca Cauê.

3.3.3 Especificação da água

Foi utilizado água potável, atendendo a norma NBR 10.833:20 que especifica que a água não pode conter impurezas nocivas à hidratação do cimento, conforme a NBR 15.900-1.

3.3.4 Fabricação

Quatro misturas com diferentes quantidades de terra e lodo foram preparadas para se estudar a influência da substituição do lodo. As proporções da mistura solo-lodo a serem utilizadas estão descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Proporção das misturas a serem estudadas (% em massa)

Mistura	Cimento (%)	Areia (%)	Terra (%)	Lodo (%)
0	10,00	63,00	27,00	0,00
1	10,00	63,00	25,75	1,25
2	10,00	63,00	24,50	2,50
3	10,00	63,00	22,00	5,00

Fonte: autoria própria (2017).

Em uma superfície livre de contaminantes, se despejou o a areia, a terra o lodo, e em seguida o cimento de forma a cobrir toda a porção e utilizando uma enxada, a mistura foi homogeneizada. A mistura foi novamente espalhada, então se adicionou água até que se atingiu a umidade ideal para moldagem.

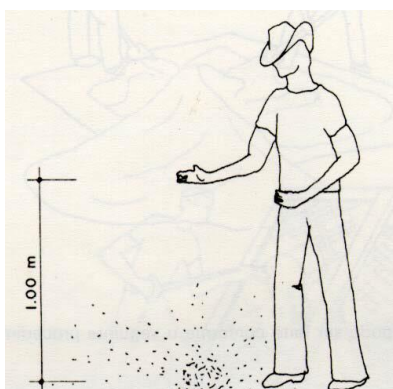
Figura 7 - Preparação da mistura

Fonte: autoria própria (2017)

A umidade ideal da mistura foi conferida ao se pegar um punhado da massa e colocando-a na palma da mão, apertando-a com força e ao se abrir a mão, deve ter se formado um bolo com a marca dos dedos. O bolo então deve cair da altura de um metro sobre uma superfície rígida e lisa. Se o impacto esfalelar o bolo, a mistura possui a umidade ideal, caso contrário, ela apresenta muita água.

Esse processo de verificação pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Verificação da umidade ideal da mistura



Fonte: FUNTAC (1999)

Figura 9 - Formação de um bolo com a marca dos dedos



Fonte: autoria própria (2017)

A mistura umedecida foi peneirada manualmente e depois transferida para o silo da prensa para a produção do tijolo. O tijolo possui a forma do molde da prensa.

Figura 10 - Prensa manual para produção de tijolos ecológicos



Fonte: Blog do Tijolo Ecológico (2013)

Após a prensagem, o tijolo foi armazenado em prateleiras para se realizar o processo de cura. O procedimento de cura dos tijolos foi feito por umedecimento, sendo necessário manter os tijolos umedecidos por um período de 7 dias a partir da moldagem.

Após o período de cura, o tijolo deve seguir para os testes de resistência mecânica e absorção de água.

Figura 11 - Tijolos armazenados para o processo de cura



Fonte: autoria própria (2017).

3.4 REQUISITOS FISICO-MECÂNICOS

Para que o tijolo fabricado seja considerado próprio para uso, ele deve atender aos requisitos presentes na NBR 8491:2012. Em relação aos requisitos gerais, “o tijolo deve ter arestas vivas e não pode apresentar fissuras, fraturas ou outros defeitos que possam comprometer o assentamento, a resistência e a durabilidade da alvenaria” (ABNT, 2012).

3.4.1 Requisitos Específicos

De acordo com a norma NBR 8492:2012 a amostra ensaiada deve apresentar valores de resistência a compressão entre 1,7 Mpa (17 kgf/cm²) e 2,0 Mpa (20 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias.

Os valores de absorção de água devem estar entre o intervalo 20 % e 22 % de absorção, com idade mínima de sete dias.

3.5 ENSAIOS FISICO-MECANICOS

Para a análise das dimensões, resistência a compressão e absorção de água foi utilizada a norma ABNT NBR 8492:2012.

3.5.1 Análise dimensional

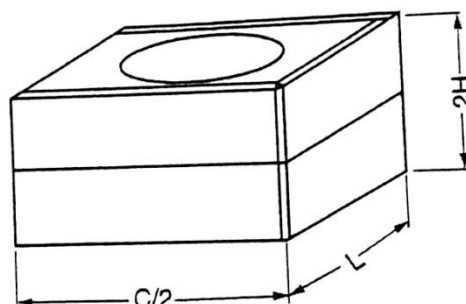
Para a análise dimensional usou-se um paquímetro seguindo a norma NBR 8492:2012.

3.5.2 Ensaio à compressão simples

Para o ensaio de resistência à compressão simples foram utilizados sete tijolos de cada tipo de mistura. Esses tijolos foram cortados ao meio de forma perpendicular com a maior medida e com o auxílio de uma serra elétrica. As faces foram coladas com suas respectivas metades utilizando uma pasta de cimento

Portland. Os tijolos colados foram utilizados como corpos de prova para o ensaio de resistência, a Figura 122 ilustra as condições de um corpo de prova .

Figura 12 - Ilustração representando a preparação do corpo de prova



Fonte: ABNT (2012)

Os corpos de prova foram ser imergidos em água por um período de 6 horas antes da realização do ensaio. Eles foram retirados da água apenas no momento do ensaio, sendo enxugados apenas superficialmente.

Os corpos foram então transferidos para a máquina de ensaio, centralizando cada corpo no prato inferior da máquina. A carga aplicada foi aumentada gradativamente com uma razão de 500 N/s (50 kgf/s) até que ocorresse a ruptura do corpo de prova.

Os resultados foram obtidos utilizando a equação a seguir:

$$f_t = \frac{F}{S} \quad Eq. (1)$$

Onde:

f_t é a resistência à compressão simples (MPa);

F é a carga de ruptura do corpo de prova (N);

S é a área de aplicação da carga (mm²).

Considerando: 1 Mpa = 10 kgf/cm².

Figura 13 - Ilustração representando o corpo de prova sendo submetido ao ensaio de resistência à compressão



Fonte: autoria própria (2017).

3.5.3 Ensaio de absorção de água

Do lote de cada mistura, os 3 restantes foram utilizados para o ensaio de absorção de água. Os corpos foram secos em estufa, com temperatura entre 105 °C e 110 °C até que a massa permanecesse constante, obteve-se a massa m_1 , em gramas (g), do corpo de prova seco utilizando uma balança com precisão de 1 g.

Os corpos de prova foram então imersos em um tanque de água durante 24 horas. Ao ser retirado do tanque o corpo foi seco superficialmente com pano levemente umedecido logo antes do momento em que sua massa foi medida novamente na balança. A massa do corpo de prova após a imersão foi considerada como massa m_2 , em gramas.

O resultado do ensaio foi obtido através da equação a seguir:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado (g).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISES DE SÓLIDOS TOTAIS

Para a análise de sólidos totais do lodo coletado, três cápsulas foram preparadas de acordo com a norma NBR10.664/1989, item 5.4, e suas massas foram medidas e registradas. Porções homogêneas da amostra foram transferidas para as cápsulas, onde foram submetidas à banho-maria até a secura. Após esse procedimento, as cápsulas contendo o resíduo das amostras foram levadas à estufa com uma temperatura de 180 °C. Decorrido uma hora na estufa, as cápsulas foram retiradas e esfriadas em dessecador à temperatura ambiente. Depois de esfriadas, mediu-se a massa das cápsulas contendo apenas os sólidos das amostras.

Os valores dos resíduos totais foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$R = \frac{(m_2 - m_1)1000}{V} \quad Eq. (3)$$

Onde:

R é o resíduo total, em mg/L;

m_2 é a massa da cápsula com o resíduo total, em mg;

m_1 é a massa da cápsula vazia, em mg;

V = volume da amostra, em mL.

Os valores obtidos com a análise estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9– Valores da análise de sólidos totais

Amostra	Volume (mL)	m_1 (mg)	m_2 (mg)	R (mg/L)
1	100	90,0345	90,6673	6327,74
2	100	90,0346	90,6724	6325,00
3	100	90,0346	90,6675	6329,00

Considerando os resultados, obteve-se um valor médio para os resíduos totais de 6327,25 mg/L, mostrando que o lodo coletado possuía uma baixa concentração de sólidos. Como não houve a medição da massa da amostra com água, não foi possível determinar a porcentagem de água evaporada, e consequentemente a porcentagem

de sólidos totais. Porém, de acordo com Richter (2009), o lodo de aparência líquida, como é o caso do lodo coletado, possui uma concentração de sólidos entre 0 e 5 %.

Figura 14 – Lodo coletado da estação de tratamento de água



Fonte: autoria própria (2017).

A baixa concentração de sólidos e a aparência líquida do lodo podem ser justificadas pelo fato do lodo ter sido coletado em um período chuvoso.

4.2 DIMENSÕES

As dimensões dos tijolos produzidos foram medidas utilizando um paquímetro metálico e estão representadas nas tabelas 10, 11, 12 e 13.

Tabela 10 – Valores das dimensões dos tijolos de referência

Tijolo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
1	240	120	71
2	240	120	72
3	240	120	71
4	240	120	71
5	240	120	72
6	240	120	72
7	240	120	71
8	240	120	71
9	240	120	71
10	240	120	72

Tabela 11 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 1

Tijolo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
1	240	120	72
2	240	120	71
3	240	120	72
4	240	120	72
5	240	120	72
6	240	120	72
7	240	120	72
8	240	120	71
9	240	120	72
10	240	120	72

Tabela 12 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 2

Tijolo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
1	240	120	71
2	240	120	72
3	240	120	71
4	240	120	71
5	240	120	72
6	240	120	72
7	240	120	72
8	240	120	72
9	240	120	71
10	240	120	72

Tabela 13 – Valores das dimensões dos tijolos da mistura 3

Tijolo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
1	240	120	72
2	240	120	71
3	240	120	71
4	240	120	72
5	240	120	71
6	240	120	72
7	240	120	72
8	240	120	72
9	240	120	72
10	240	120	72

A norma NBR 8491:2012 define o comprimento (C) como a maior dimensão das faces de assentamento. A largura (L) como a menor dimensão das faces de assentamento e a altura (H) como a distância entre as faces de assentamento. As dimensões nominais que os tijolos devem possuir segundo a NBR 8491:2012 são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Tipos e dimensões nominais de tijolo solo-cimento

Tipo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: ABNT (2012).

Todas as dimensões estão dentro dos requisitos definidos pela norma NBR 8491:2012 para tijolos tipo B, ou seja, tijolo do tipo vazado. A única dimensão que sofreu alteração entre os tijolos foi a altura pois ela dependia da força utilizada durante o momento de compactação, enquanto que o comprimento e a largura dependiam unicamente do molde. Porém, de acordo com a norma NBR 10833:2012 e a NBR 8491:2012, a altura pode sofrer variação desde que o tijolo permaneça com a altura menor que a largura.

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Foram separados três tijolos de cada lote dos tijolos fabricados para realização do teste de absorção de água. Seguindo o procedimento descrito anteriormente e considerando a equação 9.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

A é a absorção de água em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado (g).

Como fundamenta a norma ABNT (NBR 8492:2012) é esperado que a absorção de água não supere o valor individual de 22% para cada corpo de prova e que a média dos valores dos mesmos não fique acima de 20% para o período mínimo de cura de sete dias. Caso isso não ocorresse o lote deveria ser rejeitado.

Definiu-se os tijolos cuja mistura não havia adição de lodo de ETA como tijolos de Referência, os tijolos com 1,5 % de lodo como Mistura 1 (M1), com 2,5 % de lodo

como como Mistura 2 (M2) e os com 5 % de lodo como Mistura 3 (M3). Os três tijolos de cada mistura foram identificados com as letras a, b e c.

Tabela 15 – Absorção de água das amostras

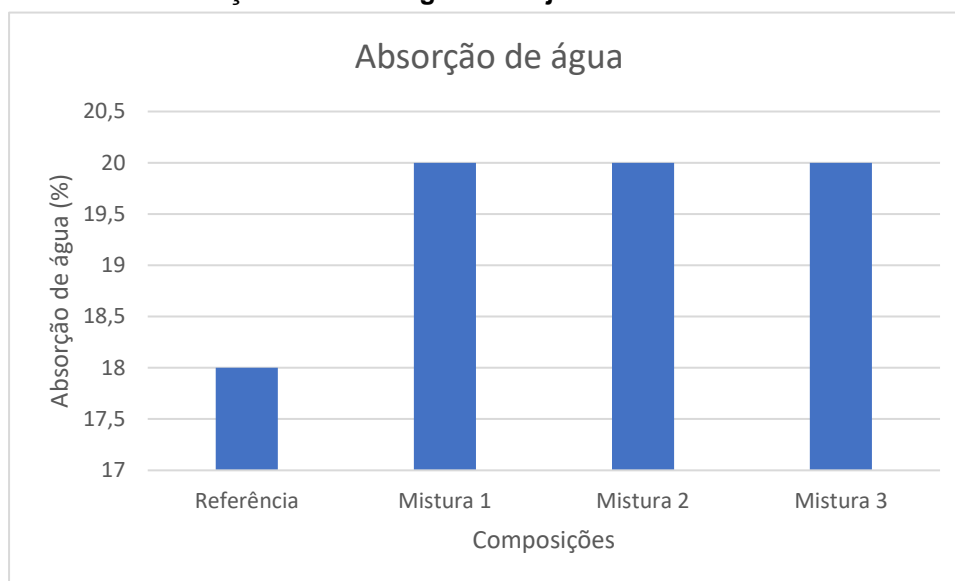
Absorção de água aos 28 dias												
Composição:	Ref.a	Ref.b	Ref.c	M1a	M1b	M1c	M2a	M2b	M2c	M3a	M3b	M3c
Absorção de água (%)	18	19	18	21	21	20	20	21	20	23	20	18

Tabela 16 – Média da absorção de água das misturas

Média da absorção de água				
Composição	Referência	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3
Média da absorção (%)	18	20	20	20

A análise dos valores de absorção das amostras, representados nas tabelas 15 e 16, mostram altos valores de absorção, embora os tijolos fabricados atendam a especificação da norma (NBR 8492:2012). O alto teor de absorção pode ser atribuído a utilização de areia na fabricação dos tijolos e a formação de grumos na mistura, principalmente as que apresentavam lodo, aumentando a sua porosidade e deixando-os propensos a absorverem uma maior quantidade de água.

O Gráfico 1 apresenta um comparativo entre as amostras e suas respectivas absorções de água.

Gráfico 1 - Absorção média de água nos tijolos

Fonte: autoria própria (2017)

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os primeiros corpos de prova a serem testados, foram dos tijolos em que a mistura solo-cimento não recebeu nenhuma adição de lodo de ETA. Sendo assim, eles foram utilizados como corpos de prova de referência. Os resultados do ensaio dos tijolos sem lodo de ETA estão expressos na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores das resistências à compressão dos tijolos de referência

Corpo de prova	Área (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	14396	17164,92	1,192
2	14396	5903,74	0,410
3	14396	19669,82	1,366
4	14396	17019,04	1,182
5	14396	11040,80	0,767
6	14396	10882,50	0,756
7	14396	16541,03	1,149

Considerando os valores obtidos, a média de resistência à compressão do lote de tijolos de referência é de 0,975 MPa. De acordo com a norma 8491:2012, a média

dos valores de resistência à compressão deve ser maior que 2 MPa e os valores individuais não devem ser inferiores a 1,7 MPa, portanto, o lote de tijolos de referência não atendeu os requisitos de resistência à compressão necessários.

O ensaio se repetiu para o lote de tijolos em que houve substituição parcial da terra por lodo, sendo que a mistura 1 possuía 10 % de cimento Portland, 88,75 % de solo (areia e terra) e 1,25 % de lodo de ETA, com porcentagens em massa. Os resultados obtidos com o ensaio à compressão dos tijolos referentes a mistura 1 estão representados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 1

Tijolo	Área (mm²)	Carga de ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	14396	8365,18	0,581
2	14396	10168,59	0,706
3	14396	8045,48	0,559
4	14396	5286,05	0,367
5	14396	9153,59	0,636
6	14396	6328,98	0,440
7	14396	8268,96	0,574

Os resultados obtidos com o ensaio de resistência à compressão do lote de tijolos da mistura 1 atingiram uma média de resistência de 0,552 MPa, não satisfazendo também aos requisitos da norma NBR 8491:2012.

Para os tijolos do lote da mistura 2, a composição foi de 10 % de cimento Portland, 87,5 % de solo e 2,5 % de lodo de ETA. Os resultados do ensaio de resistência à compressão do lote da mistura 2 estão representados na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 2

Tijolo	Área (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	14396	11726,78	0,815
2	14396	9721,62	0,675
3	14396	10218,25	0,710
4	14396	11795,07	0,819
5	14396	9585,04	0,666
6	14396	9035,64	0,628
7	14396	8554,53	0,594

Com uma média de resistência à compressão de 0,701 MPa, o lote da mistura 2 também não atendeu aos requisitos necessários de resistência à compressão.

O fato da mistura 1 ter apresentado uma média, de 0,552 MPa, menor que a mistura 2, de 0,701 MPa, pode ser explicada devido a influência do clima no dia da produção dos tijolos. O lote da mistura 1 foi produzido em um dia com chuva e, portanto, com alta umidade no ar, o que dificultava na homogeneização da mistura e na compactação da mesma quando se fazia a prensagem na máquina pois todos os componentes da mistura (cimento, areia, terra, lodo) absorvem umidade com facilidade.

Estudos das propriedades dos materiais solo, areia e lodo, principalmente umidade, sanariam o problema causado pela chuva.

A mistura 3 foi feita utilizando uma proporção em massa de 10 % de cimento, 85 % de solo e 5 % de lodo de ETA. Os resultados da resistência à compressão do lote da mistura 3 estão representados na tabela 20.

Tabela 20 – Valores das resistências à compressão dos tijolos da mistura 3

Tijolo	Área (mm ²)	Carga de ruptura (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	14396	6859,76	0,477
2	14396	7185,68	0,499
3	14396	7849,93	0,545
4	14396	5621,28	0,390
5	14396	8582,46	0,596
6	14396	5819,93	0,404
7	14396	6167,58	0,428

Com uma média de 0,477 MPa, novamente os resultados não satisfizeram ao que é requerido pela norma.

Como visto nos resultados de absorção de água, os tijolos produzidos possuem uma porosidade muito alta provavelmente devido a areia utilizada na fabricação e devido a isso, absorvem muita água. Essa porosidade alta também influencia nos resultados de resistência à compressão pois o ensaio é feito após os tijolos ficarem imersos em água durante seis horas. Ou seja, durante o ensaio os tijolos apresentam um alto teor de água.

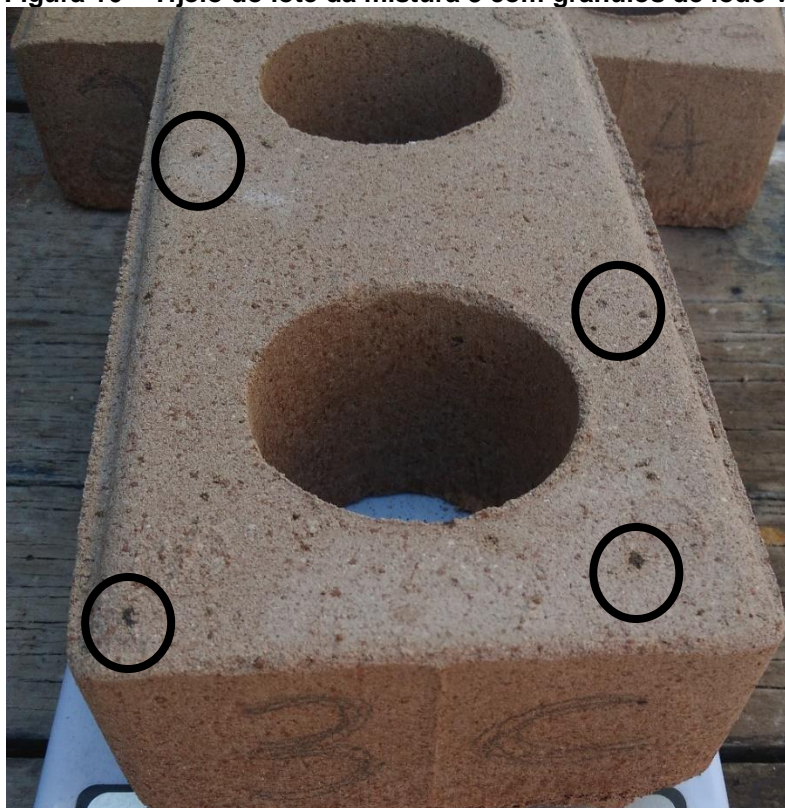
A queda da resistência dos tijolos com o aumento da porcentagem de lodo pode ser explicada devido aos grânulos de lodo que ficam mais presentes nos tijolos. A adição de um material com pouca ou quase nula resistência, em comparação a todos os outros componentes da mistura, causa uma perda na resistência do produto final. A Figura 15 mostra um tijolo do lote da mistura 1 sem grânulos aparentes em sua superfície, enquanto que a Figura 16 mostra um tijolo da mistura 3 com grânulos visíveis em sua superfície.

Figura 15 – Tijolo do lote da mistura 1 sem grânulos de lodo visíveis



Fonte: autoria própria (2017)

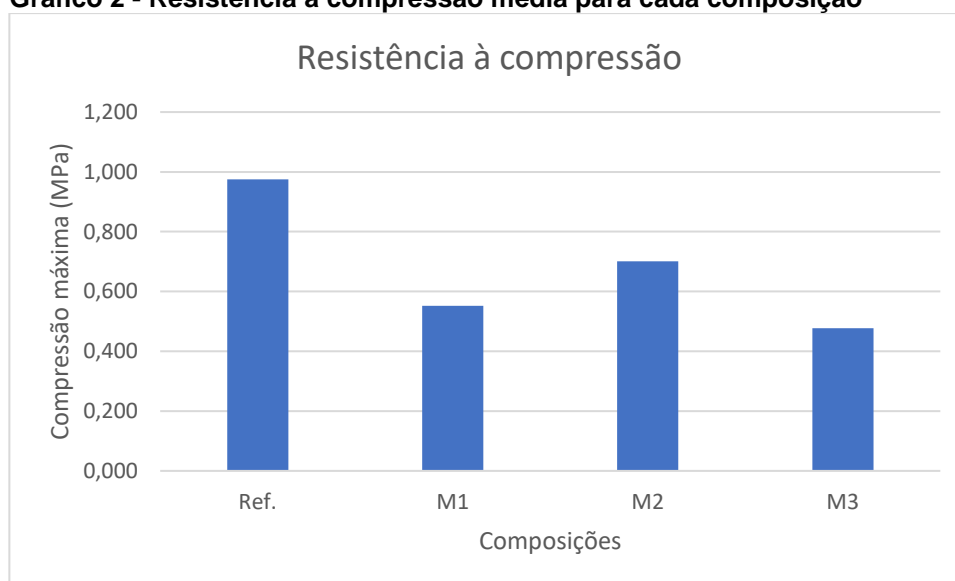
Figura 16 – Tijolo do lote da mistura 3 com grânulos de lodo visíveis



Fonte: autoria própria (2017)

O Gráfico 2 compara a média dos valores obtidos com o ensaio de compressão à resistência.

Gráfico 2 - Resistência à compressão média para cada composição



Fonte: autoria própria (2017)

Outro fator que pode ser apontado como causa da baixa resistência à compressão é a compactação da mistura. Os tijolos foram produzidos em uma prensa manual e não há como medir e padronizar a compressão feita na mistura a cada tijolo produzido. Durante o ensaio, notou-se que os tijolos quebravam próximo as bordas externas e se mantiveram com menos rupturas próximo a área do furo.

Figura 17 – Tijolos após o ensaio de resistência à compressão



Fonte: autoria própria (2017)

Isso pode indicar que a compressão na máquina não era feita de forma uniforme e, portanto, a resistência do tijolo é maior nas áreas com maior compactação.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho possui importância fundamental no estudo para a viabilização da aplicação de lodo de ETA na construção civil, através da fabricação de tijolos ecológicos.

Os lotes estudados apresentaram alta absorção de água em decorrência da sua elevada porosidade e formação de grumos, todavia, ainda atenderam as especificações impostas pela normativa. A utilização de um triturador mecânico, ao invés somente do peneiramento manual, poderia solucionar o problema da formação de grumos na mistura, podendo diminuir significativamente a alta absorção de água dos corpos de prova analisados.

As análises de resistência à compressão indicam que a porosidade dos tijolos, a falta de uniformidade na compactação e o procedimento de cura também estão ligados a perda de resistência dos tijolos.

A prensa manual, embora apresente inúmeras vantagens econômicas, pode acarretar uma baixa compactação de material, impactando negativamente na produção de tijolos.

O lodo coletado mostrou-se ter uma concentração de sólidos totais muito baixa, tornando-o sua utilização na composição da mistura inviável, pois como a água é o componente com maior porcentagem de massa no lodo, é necessária muita energia para a separação da água e dos sólidos.

De modo geral, o presente estudo, não atingiu o resultado esperado, visto que os lotes não atenderam as especificações da ABNT, sendo inviáveis para aplicação, no formato ensaiado deste trabalho.

Como sugestão para futuros trabalhos, seria interessante a utilização de equipamentos mecânicos, tais como o triturador e misturador mecânico. Estes, além de aumentar a produtividade, aumentariam a qualidade das misturas.

Outra sugestão seria o emprego de diferentes tipos de solo e composições na argamassa, com a finalidade de aproximar a mistura da ideal para este tipo de aplicação.

REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água.

Engenharia sanitária e ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, jan./mar. 2008.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 115-122, abr./jun. 2013.

ACHON, C.L.; CORDEIRO., J. S. Riscos da destinação de lodos de ETAs - Leis 9.605/1998 e 12.305/2010. In: **XVII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**. 43º Assembleia nacional do ASSEMAE, de 19 a 24 de maio de 2013, Vitória, ES, Brasil, VII-28, 2013.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

ANDRADE, C. D.; MYNRINE, V.; SILVA, D. A.; et al. Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, jan./jun. 2016.

ARAÚJO, F. C.; SCALIZE, P. S.; ALBUQUERQUE, A.; et al. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 360, out./dez. 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Dossiê Técnico: Tijolo Solo Cimento**. São Paulo, 2016.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. 2ª ed. São Paulo, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 11798**: Materiais para base de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. 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. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 10664**: Determinação de resíduos (sólidos) – Método Gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989.

BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J. A TOXICIDADE DE DESPEJOS (LODOS) DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA À *Daphnia similis* (CLADOCERA, CRUSTACEA). In: **CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 25., 2001, Porto Alegre. Anais... . Porto Alegre, 2001.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 315-324, jul./set. 2012.

CIA DO BEM. **Ecotijolos**: Tijolos Econômicos e Ecológicos. Disponível em: <<https://ecotijolos.wordpress.com/author/ciadobem/>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

BIOBLOC. **Biobloc**: Tijolos ecológicos. Disponível em: <<http://biobloctijolosecologicos.blogspot.com.br/p/blog-page.html>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

BRASIL. **Lei N.º 9433** de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 237** de 19 de dezembro de 1997. Procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental como instrumento de gestão ambiental. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 1997.

BRASIL. **Lei Nº 9.605** de 12 de Fevereiro de 1998. Lei dos Crimes Ambientais.

BRASIL. **Lei Nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.

CAPODAGLIO, A. G.; HLAVÍNEK, P.; RABONI, M. Physico-chemical technologies for nitrogen removal from wastewaters: a review. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, jul./set. 2015.

CORSAN. **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/inicial>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

FERREIRA, B. O.; VIANNA, M. R. Caracterização qualitativa e quantitativa do lodo originário dos decantadores de uma estação de tratamento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte tratando água de baixa t. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 17-20, jul./dez. 2011.

FREITAS, J. G.; FERREIRA FILHO, S. S.; PIVELI, R P. Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água. **Engenharia sanitaria e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, abr./jun. 2005.

FUNTAC. **Cartilha para produção de tijolo solo cimento**. Rio Branco, AC. 1999.

GERVASONI, R. **Caracterização do potencial de destilação do lode de estações de tratamento de água do estado do Paraná**. 2014. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Curitiba, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 41-55 p.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Química nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, jan./fev. 2006.

JONSSON, C. M.; MAIA, A. H. N.. AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO LODO DE ESGOTO DE DUAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO PARA O INVERTEBRADO AQUÁTICO *Daphnia similis*. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 17, p. 1-8, jan./dez. 2007.

MACHADO, A. O.; ARAÚJO, J. A. Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostospor Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil. **XI Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia**, Volta Redonda, out. 2014.

MENEZES, M. P. **Gerenciamento do resíduo sólido oriundo de estação de tratamento de água e estudo da disposição no meio ambiente**. 2006. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia Química Agroindustrial, Centro Federal de Educação Tecnológica, Goiás, 2006.

MIELI, P. H. **Avaiiação do tijolo modular de solo-cimento com material na construção civil**. 2009. p. 59 TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MOGHADDAM, S. S.; MOGHADDAM, M. R.; ARAMI, M.. Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**, Iran, v. 175, n. 3, p. 651-657, jul./out. 2009.

PEREIRA, S. L. M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. 2011. TCC (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PORTAL BRASIL. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura é analisada**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2015/01/utilizacao-de-lodo-de-esgoto-na-agricultura-e-analisado>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; et al. **Caraterização físico-química do lodo centifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr**. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL. Joinvile, 2003.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 333 p. ISBN 9788521204985.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F.. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solocimento. **Cerâmica**, Rio de Janeiro, n. 59, p. 551-556, out. 2014.

SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/default.aspx>>. Acesso em: 18 nov. 2016.

SANEPAR. **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/servicos/agua>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

SAHARA. **Sahara – indústria e comércio de máquinas e equipamentos**. Disponível em: <<http://www.sahara.com.br/>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

SILVA, G. H. R.; DANIE, L. A. Desinfecção de efluente anaeróbio com o uso de ozônio/cloro. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, abr./jun. 2015.

SILVA, E. T.; MELO, W. J.; TEIXEIRA S. T. Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 6, nov./dez. 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIENCIA. **Disposição de resíduos de estação de tratamento de água em lagoa facultativa de esgoto: caracterização da eta**. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-susane-campos.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

TARTARII, R.; DÍAZ-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; et al. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. **Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 343, abr./ago. 2011.

VIEIRA, C. M. F.; MARJEM J. I.; MONTEIRO S. N. Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com lodo de ETA. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, abr./jun. 2008.