

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Utilização de lodo proveniente de estações de tratamento de água  
e de tratamento de esgoto para produção de tijolos: estudos de casos da  
Petrobrás e da Votorantim**

**Valdir Francisco da Silva**

**São Carlos – SP**

**2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Utilização de lodo proveniente de estações de tratamento de água  
e de esgotos para produção de tijolos: estudos de casos da Petrobrás e da  
Votorantim**

**Valdir Francisco da Silva**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora:

**Profa. Dra. Poliana Arruda Fajardo**

São Carlos – SP

**2021**

## **Banca Examinadora**

Trabalho de Graduação apresentado no dia 23 de janeiro de 2021 perante a seguinte banca examinadora:

Orientadora:

Profa.Dra. Poliana Arruda Fajardo

Convidado:

Prof. MSc. Ariane Silveira Sbrice Pinto, PPGEC – UFSCar.

Professoras da Disciplina:

Profa. Dra. Fernanda Perpétua Casciotori

Profa. Dra. Janaina Fernanda Gomes

Profa. Dra. Alice Medeiros de Lima



“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor”

(Paulo Freire)

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Dra. Poliana Arruda Fajardo, pela sua orientação, incentivo e dedicação fornecida para a conclusão deste trabalho.

A todos os Professores e Tutores do curso de Engenharia Ambiental.

Aos colegas que conheci durante o curso.

## **DEDICATÓRIA**

A Glúcia, esposa e companheira.

Ao Gabriel, filho e grande entusiasta.

## RESUMO

A água tem papel importante na indústria e para sua utilização adequada no refino do petróleo, é necessário um tratamento prévio, como ocorre na Estação de Tratamento de Água de uma refinaria da Petrobrás, em Paulínia-SP (ETA/Replan), durante o qual é gerado um lodo químico, que necessitam de uma destinação adequada para não causar impactos ambientais e não comprometer seus locais de descarte. Outro componente importante das indústrias são as Estações de Tratamento de Esgotos sanitários - ETEs, a exemplo da estação da indústria de celulose e papel, em Votorantim-SP (ETE/VCP), que também produzem lodo, embora, mais orgânico. Tanto o lodo de ETAs quanto de ETEs devem receber um destino adequado para não causar impactos ambientais negativos. Assim, o objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica da incorporação dos lodos da ETA/Replan e da ETE – VCP em massa argilosa para fabricação de tijolos. O estudo foi conduzido em parceria com uma olaria que, além de argilas vermelhas e piçarras, utilizou os lodos da ETA/Replan e da ETE/VCP na composição dos tijolos. Os equipamentos e procedimentos necessários para as análises foram fornecidos por laboratórios externos, conforme exigências da CETESB. Tanto os resíduos provenientes da ETE/VCP como da ETA/Replan, foram classificados como Classe II – não inerte e não perigoso, o que indica um alto potencial para utilização como matéria prima em materiais de construção. A adição dos resíduos na argamassa não alterou significativamente a absorção de água dos tijolos, que ficou em média em 20,7%. Houve um aumento da resistência à compressão com a incorporação do resíduo lodo da ETA/Replan em torno de 9%, com média de 12,4 Mpa. Os resultados permitem concluir que os resíduos adicionados à argamassa são adequados para utilização em materiais de construção.

Palavras-chave: Lodo. Resíduos Sólidos. Estação de Tratamento de Água. Estação de Tratamento de Esgotos. Impactos ambientais.

## **ABSTRACT**

Water plays an important role in the industry and for its proper use in oil refining, prior treatment is necessary, as occurs in the Water Treatment Station of a Petrobras refinery, in Paulínia-SP (ETA / Replan), during which a chemical sludge is generated, which need an appropriate destination to avoid causing environmental impacts and not compromising their disposal sites. Another important component of the industries are the Sanitary Sewage Treatment Stations - ETEs, like the pulp and paper industry station, in Votorantim-SP (ETE / VCP), which also produce sludge, although more organic. Both the sludge from ETAs and ETEs must receive an adequate destination in order not to cause negative environmental impacts. Thus, the general objective of this work is to study the technical feasibility of incorporating the sludge from ETA / Replan and ETE - VCP into clayey clay for the manufacture of bricks. The study was carried out in partnership with a pottery that, in addition to red clays and slabs, used the sludge from ETA / Replan and ETE / VCP in the composition of the bricks. The equipment and procedures necessary for the analyzes were provided by external laboratories, as required by CETESB. Both waste from ETE / VCP and ETA / Replan were classified as Class II - non-inert and non-hazardous, which indicates a high potential for use as a raw material in construction materials. The addition of residues in the mortar did not significantly alter the water absorption of the bricks, which averaged 20.7%. There was an increase in compressive strength with the incorporation of the sludge residue from ETA / Replan around 9%, with an average of 12.4 Mpa. The results allow us to conclude that the residues added to the mortar are suitable for use in construction materials.

Keywords: Sludge. Solid waste. Water treatment station. Sewage Treatment Station. Environmental impacts.

## SUMÁRIO

Banca Examinadora .....	i
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS E QUADROS.....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xii
LISTA DE QUADROS .....	xiv
NOMENCLATURA.....	xv
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Lodo de Estação de Tratamento de Água – ETA.....	4
2.1.1 Caracterização do Lodo ETA/Replan.....	8
2.2 Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto sanitário ETE .....	10
2.2.1 Caracterização do lodo da ETE/VCP.....	15
2.3 Impactos ambientais Provocados por ETA e ETE.....	18
2.3.1 Impactos ambientais que podem ser provocados por ETAs:.....	18
2.3.2 Impactos ambientais que podem ser causados por ETes:.....	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3.1 Unidades de análise .....	23
3.1.1 Estação de Tratamento de Água – ETA/Replan.....	23
3.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE/VCP.....	29
3.2 Materiais.....	30
3.3 Equipamento.....	34
3.3.1 Equipamentos utilizados para análise de lixiviados.....	34

3.3.2	Equipamentos utilizados para amostragem de efluentes gasosos.....	34
3.3.3	Equipamentos para análise de absorção de água.....	35
3.3.4	Equipamentos para a análises de toxicidade.....	35
3.3.5	Equipamentos para a análise de resistência à compressão.....	35
3.3.6	Equipamentos utilizados na fabricação dos tijolos.....	36
3.4	Procedimento Experimental.....	39
3.4.1	Procedimentos experimentais para análises de lixiviados.....	41
3.4.2	Procedimentos experimentais para análises de efluentes gasosos.....	41
3.4.3	Procedimentos experimentais para análise de absorção de água.....	43
3.4.4	Procedimentos para análise de toxicidade.....	44
3.4.5	Procedimentos experimentais para análises de resistência à compressão.....	44
4	Resultados e discussões.....	45
4.1	Resultados das análises da Argila Vermelha.....	45
4.2	Resultados das análises da Argila Piçarra.....	46
4.3	Resultados das análises do Lodo VCP.....	47
4.4	Resultados das análises do Lodo da ETA/Replan.....	49
4.5	Resultados das análises de Tijolos Verdes (não queimados).....	51
4.5.1	Tijolos Verdes com Argilas Vermelha e Piçarra e Lodo da ETE da VCP.....	51
4.5.2	Tijolos Verdes com Argilas Vermelha e Piçarra, Lodo da ETE/VCP e Lodo da ETA/Replan.....	53
4.5.3	Resultados das análises de tijolos verdes com argilas Vermelha e Piçarra.....	56
4.6	Análises de tijolos queimados.....	58
4.6.1	Tijolos Queimados com Argilas Vermelha, Piçarra e Lodo da ETE/VCP.....	58
4.6.2	Tijolos Queimados com Argilas Vermelha e Piçarra, Lodo da ETE/VCP e Lodo da ETA/Replan.....	61
4.6.3	Tijolos Queimados com Argilas Vermelha e Piçarra.....	63
4.7	Resultados dos Testes de Toxicidade Aguda.....	66
4.8	Ensaio Tecnológico com Tijolos Queimados.....	67
4.8.1	Tijolos Queimados preparados com argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.....	67
4.8.2	Tijolos Queimados preparados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e Lodo da ETA/Replan.....	70
4.8.3	Tijolos Queimados preparados com Argilas Vermelha e Piçarra.....	72
4.9	Resultados das análises dos Efluentes gasosos.....	74
5	Conclusões e Sugestões.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
	BIBLIOGRAFIA.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	APÊNDICE A.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	APÊNDICE B.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	APÊNDICE ... n.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Vista parcial de um decantador Pulsator .....	25
Figura 3.2 – Vista da Ultra-filtração.....	26
Figura 3.3 - Detalhe das membranas da Ultra-filtração. ....	27
Figura 3.4 - Vista do tanque de armazenamento de lodo.....	28
Figura 3.5 - Vista da centrífuga.....	28
Figura 3.6 - Vista do lodo desidratado .....	29
Figura 3.7 - Vista geral da ETE Votorantim .....	30
Figura 3.8 - Vista da jazida de argila Schiavolim .....	31
Figura 3.9 - Lodo da ETA/Replan.....	31
Figura 3.10 - Lodo ETE/VCP.....	32
Figura 3.11 - Amostras de tijolos verdes para análises.....	33
Figura 3.12 - Amostras de tijolos queimados para análises .....	33
Figura 3.13 - Amostra de tijolos queimados para análises.....	34
Figura 3.14 - Equipamentos para análises de efluentes gasosos.....	35
Figura 3.15 - Sistema misturador de pás e extrusora.....	36
Figura 3.16 - Vista da mesa de corte.....	37
Figura 3.17 - Fornos de alvenaria para queima de tijolos.....	38
Figura 3.18 - Pátio de armazenamento e secagem.....	38
Figura 3.19 - Madeira Eucalipto utilizado como combustível.....	43



# **LISTA DE TABELAS E QUADROS**

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Óxidos encontrados no lodo da ETA. ....	6
Tabela 2.2 - Componentes químicos solubilizados no lodo.....	9
Tabela 2.3 - Análises físico-químicas do lodo das ETES.....	12
Tabela 2.4 -- Valores dos parâmetros químicos encontrados nas ETES.....	12
Tabela 2.5 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de esgotos sanitários. ....	13
Tabela 2.6 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de ETE têxtil. ....	13
Tabela 2.7 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de ETE papel e celulose. ....	14
Tabela 2.8 - valores dos parâmetros físico-químicos das ETES. ....	14
Tabela 2.9 - Valores das análises químicas do lodo solubilizado.....	17
Tabela 2.10 - Análise química de massa bruta.....	17
Tabela 4.1 – Análise de solubilizado da argila vermelha.....	45
Tabela 4.2 - Análise de massa bruta da argila vermelha.....	45
Tabela 4.3 - Análises de solubilizado da argila piçarra.....	46
Tabela 4.4 - Análise de massa bruta da argila piçarra. ....	47
Tabela 4.5 - Análise de solubilizado de lodo da ETE/VCP. ....	48
Tabela 4.6 - Análise de massa bruta do lodo da ETE/VCP. ....	48
Tabela 4.7 - Análises de solubilizado do lodo da ETA/Replan. ....	49
Tabela 4.8 - Análises de solubilizado para Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	51
Tabela 4.9 - Análise de solubilizado para Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	52
Tabela 4.10 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes compostos por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	54
Tabela 4.11 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	55
Tabela 4.12 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha e piçarra.....	56
Tabela 4.13 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha e piçarra.....	58
Tabela 4.14 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	59
Tabela 4.15 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	60
Tabela 4.16 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	62

Tabela 4.17 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	63
Tabela 4.18 - Análises de solubilizado em tijolos queimados composto por argilas vermelha e piçarra.....	64
Tabela 4.19 - Análises de Solubilizado em tijolos queimados composto por argilas vermelha e piçarra.....	65
Tabela 4.30 - Dimensões de tijolos queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	68
Tabela 4.31 - Absorção de água em tijolos queimados compostos por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	69
Tabela 4.32 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP. ....	70
Tabela 4.33 - Dimensões de Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo de ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	71
Tabela 4.34 - Absorção de água em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.....	71
Tabela 4.35 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e ETA/Replan.....	72
Tabela 4.36 - Dimensões dos tijolos composto por argilas vermelha e piçarra. ....	73
Tabela 4.37 - Absorção de água em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha e piçarra.....	73
Tabela 4.38 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha e piçarra.....	74

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 - Aparência do lodo quanto a concentração de sólidos.....	5
Quadro 2.1 - Análises solicitadas.....	40
Quadro 4.3 - Análises de toxicidade em tijolos queimados com argila Vermelha e Piçarra .....	66
Quadro 4.4 - Análises de toxidade em tijolos queimados com lodo da ETE/VCP.....	67
Quadro 4.5 - Análises de toxidade em tijolos queimados com lodos da ETE/VCP e ETA/Replan. ....	67

## NOMENCLATURA

### Abreviações

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>
<b>ABNT</b>	Associação brasileira de normas técnicas.
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
<b>DBO</b>	Demanda biológica de oxigênio.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxigênio.
<b>EPA</b>	Environmental protection agency.
<b>ETA</b>	Estação de tratamento de água.
<b>ETE</b>	Estação de tratamento de esgotos.

# 1 INTRODUÇÃO

Em indústrias de diversos segmentos, a água tem papel importante em várias etapas do processo de fabricação, seja na utilização como matéria prima, solvente para diluição, limpeza, resfriamento e conservação ou para o tratamento de produtos finais. No caso de refinarias de petróleo, a água é fundamental nos processos de produção de combustíveis, como na fase líquida, cujo objetivo principal é o resfriamento das unidades e equipamentos de processo, e na fase de vapor d'água, para aquecimento e refino do petróleo cru.

Para sua utilização adequada no processo de refino do petróleo, porém, se faz necessário um tratamento prévio dessa água, como ocorre na Estação de Tratamento de Água da Refinaria de Paulínia (ETA/Replan), uma das unidades da Petrobrás do estado de São Paulo, onde a água recebe o tratamento adequado para cada etapa de fabricação de combustível.

A estação de tratamento ETA/Replan é de ciclo completo, contemplando as etapas de pré-sedimentação, pré-cloração, coagulação/floculação, decantação, filtração e cloração, que são complementadas pelas etapas de cadeias de desmineralização, ultra-filtração e osmose reversa, cujas finalidades são a produção de água para geração de vapor.

Como em todo processo de produção, entretanto, durante o tratamento da água são gerados resíduos que necessitam de uma destinação adequada para não causar impactos ambientais e não comprometer seus locais de descarte. No tratamento de água da ETA/Replan, assim como de ETAs que realizam o tratamento de água dos municípios, o principal resíduo gerado é o lodo, provenientes principalmente das etapas de coagulação/flotação e decantação e que é classificado como resíduo não perigoso e não inerte, ou seja, classe II-A de acordo com a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), e cuja destinação encontra desafios.

Por outro lado, toda a água já utilizada nos processos de fabricação também necessita de tratamento antes de sua devolução aos corpos d'água receptores, pois pode causar impactos nocivos ao meio ambiente. Assim, as Estações de Tratamento de esgotos Sanitários ou de Efluentes – ETEs - têm por finalidade tornar a água utilizada nos processos menos impactantes a esses corpos receptores, por meio de tratamento do esgoto gerado.

Os vários tratamentos de esgoto sanitário geram resíduos, como os resíduos sólidos do tratamento preliminar ou mesmo gases provenientes de reações aeróbicas e anaeróbicas, como o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e o metano ( $CH_4$ ). Mas, o resíduo principal, no que se refere à

quantidade e destinação mais difícil é o lodo, a exemplo do que acontece com as ETAs (Fajardo, 2019).

Embora diferentes em sua constituição, tanto o lodo de ETAs quanto o de ETEs não podem ser descartados em qualquer lugar, pois apresentam características físicas, químicas e biológicas que podem causar impactos negativos ao meio ambiente, este entendido aqui como um espaço que engloba também a população, principalmente do entorno dessas estações. É importante, dessa maneira, o estudo de uma destinação adequada para ambos os lodos e um destes destinos é a sua utilização como matéria-prima para a produção de materiais, como tijolos, por exemplo.

A produção atual de lodo da ETA/Replan, segundo informações da estação de tratamento, por exemplo, é de cerca de 100 ton/mês. Portanto, o estudo da reutilização do lodo desta estação para a produção de tijolos pode possibilitar a redução da quantidade desse resíduo que é destinada para aterros sanitários, o que poderá não somente prolongar a vida útil destes aterros, como também promover benefícios ambientais, além de financeiros, uma vez que a destinação desse tipo de lodo é onerosa. O mesmo é válido para o lodo de ETEs.

Outro aspecto a ser considerado são os benefícios de ações como o reaproveitamento de lodos de ETAs e ETEs no âmbito da gestão ambiental, pois proporcionam ganhos não somente ambientais como também para os setores público e de atividade industrial. Ganha o meio ambiente, com a possibilidade da redução de impactos ambientais; o setor público, com a minimização da destinação de lodo para aterros sanitários e o consequente prolongamento de sua vida útil; ganha a Petrobras, com ações mais efetivas de gestão ambiental e de responsabilidade socioambiental e ganha também a indústria cerâmica, com a possibilidade de redução de custos de produção, diminuição de perdas no processo produtivo, redução do consumo de recursos ambientais e melhorias na qualidade final dos seus produtos, sendo estes aspectos de fundamental importância para estudos como a presente pesquisa.

Assim, a possibilidade de outro destino aos lodos da ETA/Replan e também de uma ETE da empresa Votorantim, que produz papel e celulose - ETE/VCP, incentivou um estudo de viabilidade para a utilização de ambos os lodos na fabricação de tijolos. O estudo foi conduzido em parceria com a olaria Schiavolim, de Piracicaba/SP, que além de argilas vermelhas e piçarras, utilizou os lodos da ETA/Replan e da ETE/VCP na composição de seus tijolos. Neste trabalho apresenta-se, portanto, o estudo realizado para a incorporação do lodo da ETA/Replan, bem como da ETE/VCP a essa massa argilosa.

O objetivo geral deste Trabalho de Graduação é, deste modo, estudar a viabilidade técnica da incorporação dos lodos da ETA/Replan e da ETE – VCP em massa argilosa para fabricação de tijolos no que se refere a análises de lixiviado, emissões de gases atmosféricos e propriedades cerâmicas do produto.

Já os objetivos específicos são: discutir sobre os resíduos lixiviados de amostras de tijolos verdes (não queimados) e queimados, bem como sobre os efluentes gasosos provenientes da queima dos tijolos e também quanto à absorção de água de tijolos queimados. Além disso, objetiva-se também discutir sobre os resultados das análises biológicas de toxicidade de tijolos queimados e verificar sua resistência à compressão.

Considera-se, portanto, que este trabalho pode contribuir para o campo de pesquisas destinadas ao estudo do reaproveitamento de lodos de ETAs, e ETEs, especificamente quanto à reutilização destes resíduos como matéria-prima para a produção de tijolos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Lodo de Estação de Tratamento de Água – ETA

Segundo Ferreira *et al.* (1999), os sólidos retirados por vários processos nas estações de tratamento, são compostos por areia, lixo e lodo, sendo que, este é o subproduto mais importante dos processos de tratamento.

O lodo gerado nas operações e processos de tratamento se apresentam, geralmente, em forma líquida ou líquida semi-sólido, que dependendo do processo adotado, pode conter de 0,25 a 12% de sólidos (FERREIRA *et al.*, 1999).

Souza (2017), em seu trabalho de caracterização físico química do lodo de uma ETA, localizada no município de Várzea Grande/MT, encontrou valores de sólidos totais na água bruta variando de 0,013 a 0,016%, em um período de um mês.

A ETA Várzea Grande utiliza processo de tratamento convencional e ciclo completo e, como coagulante primário, o sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e a vazão de água tratada na ETA Várzea Grande é 390 L/s, totalizando 1404 m<sup>3</sup>/h ou 1404 t de água em massa (SOUZA, 2017).

Segundo Teixeira (2012) nas ETAs, durante os processos de purificação da água dos mananciais, são gerados os lodos nos tanques de decantação, em maior quantidade, e águas de lavagem de filtros.

Os valores estimados de produção de lodo, encontrados por Souza; Almeida (2017), demonstram que a maior produção está no tanque de decantação, conforme mostrado a seguir:

- Tanque de decantação – 727,557 g/m<sup>3</sup>.
- Flocculador – 517,657 g/m<sup>3</sup>.
- Lavagem de filtro – 341,849 g/m<sup>3</sup>.

Portanto, o total estimado de lodo gerado é de 2.228,148 Kg/h. Essa massa representa 0,16% do total de água tratada (SOUZA, 2017).

O potencial Hidrogeniônico (pH) do lodo variou de 7,1 a 7,6 nos tanques de decantação e água de lavagem de filtros, dando um caráter levemente básico a este (SOUZA, 2017).

Segundo Teixeira (2012) o lodo dos tanques de decantação apresenta uma concentração de sólidos que variam de 0,1 a 1%, no caso de remoção mecânica, e de 4 a

13% quando removido manualmente. Com relação ao volume de água tratada fica compreendido entre 0,06 e 0,25%. Como características físicas, apresenta baixa sedimentação e difícil desidratação (TEIXEIRA, 2012).

Segundo Souza; Almeida (2017), os valores de sólidos totais de tanques decantação da ETA Várzea Grande/MT, variaram de 0,068 a 0,641% em um período de um mês. As amostras foram colhidas e analisadas de setembro a outubro de 2015, considerado um período seco para a região. O processo de remoção do lodo não foi especificado.

Quando as águas de lavagem de filtros são recuperadas, há uma geração menor no volume de lodo. Caso não ocorra a recuperação, considera-se como lodo todo o volume de água de lavagem (TEIXEIRA, 2012).

Com relação do volume de água tratada, as águas de lavagem de filtros representam entre 1 e 5%, com concentração de sólidos entre 0,01 e 0,1%. Possui sedimentação variável e desidratação desfavorável (TEIXEIRA, 2012).

Conforme Souza; Almeida (2017), em nenhuma parte do processo de tratamento de água, a concentração ultrapassou 4% da massa total dando uma aparência líquida ao lodo da ETA. O Quadro 2.1 descreve a aparência do lodo de sulfato de alumínio.

**Quadro 2.1 - Aparência do lodo quanto a concentração de sólidos.**

Concentração de sólido (%)	Aparência do resíduo
0 a 5	Líquido
8 a 12	Esponjoso, Semisólido
18 a 25	Argila ou barro suave

Fonte: Adaptado de Ritche (2001).

Segundo Souza; Almeida (2017), os valores de sólidos totais encontrado na água de lavagem de filtros variam de 0,057 a 0,107%.

Pinheiro *et al.* (2014), caracterizaram mineralógica e físico-química o lodo proveniente da ETA do município de Leopoldina/MG, para aproveitamento do resíduo na indústria de cerâmica vermelha. Segundo os autores, o lodo estudado apresentou como principal mineral argiloso a Caulinita, seguido pela Hematita e, em menores quantidades, a Ilita e o Anatásio.

A composição química do lodo da ETA estudada por Pinheiro *et al.* (2014) é apresentada na Tabela 2.1, em que a porcentagem em peso está associada ao óxido.

**Tabela 2.1 - Óxidos encontrados no lodo da ETA.**

OXIDOS	RESÍDUO (LODO) ETA
SiO <sub>2</sub>	26,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,00
TiO <sub>2</sub>	1,26
CaO	0,14
MnO	1,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31
MgO	0,32
K <sub>2</sub> O	0,34
Na <sub>2</sub> O	0,03
P.F	19,32

Fonte: Adaptado de Pinheiro *et al.* (2014).

Os óxidos de silício (SiO<sub>2</sub>), alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) representam 77,17% da composição do resíduo lodo de ETA, como demonstrado na Tabela 2.1.

O valor do óxido de silício pode estar relacionado à presença da Caulinita, enquanto o teor de óxido de alumínio pode ser decorrente da reação entre o coagulante sulfato de alumínio e a Caulinita presente no lodo. Já o teor de óxido ferro pode ser resultado da hidroxilação da Hematita (PINHEIRO *et al.*, 2014).

De acordo com Pinheiro *et al.* (2014), o resíduo do lodo de ETA é constituído em grande parte por partículas menores do que 63 µm, apresentando um aspecto arenoso após

desidratação. Segundo os autores, também é verificada uma grande quantidade de partículas menores do que 2  $\mu\text{m}$ , dando uma característica argilosa ao resíduo.

O resíduo apresenta uma massa específica real da ordem de 2,58  $\text{g/cm}^3$ , e índice de plasticidade de 22% sendo este um parâmetro importante, pois determina capacidade de extrusão do material (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Apesar de possuir um grande potencial para incorporação em massa argilosa, para a produção de cerâmica vermelha, é recomendada uma utilização moderada da quantidade adicionada, pois este possui um elevado valor de limite plástico (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Portanto, no tratamento de água, como se pode perceber pelos estudos anteriores descritos, os resíduos oriundos da decantação e filtração, são compostos basicamente com as características físico-químicas da água bruta, com a adição de hidróxidos de alumínio ou ferro, dependendo do tipo de coagulante utilizado, outros metais, microrganismos, resíduos orgânicos e inorgânicos, etc (VON SPERLING, 1996).

Segundo Achon *et al.* (2004), o tratamento e disposição adequada dos lodos provenientes de ETAs é uma grande oportunidade de geração de receitas, principalmente, na redução de custos e impactos ambientais em diversas empresas e serviços autônomos de saneamento básico em várias partes do mundo. A solução econômica mais viável, é o aproveitamento do lodo em outras atividades. Conforme os autores, as aplicações do lodo com maior potencial, são:

- Fabricação de cimento.

a) Aplicação: Fase de pré-homogeneização das matérias primas.

b) Vantagens: Presença de óxidos de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) – diminuição da concentração de álcali, evitando a expansão e fissuras em estruturas de concreto.

- Fabricação de tijolos.

a) Aplicação: Fase de mistura.

b) Vantagens: diminuição significativa da quantidade de argila e xisto, aumento da vida útil de jazidas naturais e fácil comercialização.

- Solo comercial.

a) Aplicação: Produção de solos comerciais, solos para vasos, fabricação de adubos orgânicos e como solos suporte para germinação de sementes.

b) Vantagens: substituição da perlita (para aeração), calcário (para ajuste de pH), areia (peso), argila bentonítica (solução tampão), turfas, lascas de madeira e fertilizante (N e P).

- Resíduos da construção civil com lodos de ETA.

a) Aplicações: Concreto para contra-piso, argamassa de assentamento não estrutural e blocos de concreto não estrutural.

b) Vantagens: minimização dos impactos ambientais gerado pelo lodo de ETA e resíduos da construção civil.

- Melhoria da sedimentabilidade de águas com baixa turbidez.

a) Aplicação: processo de coagulação e flotação.

b) Vantagens: aumento da produção de água tratada.

- Cultivo de gramas.

a) Aplicação: Líquido: fase de preparação do solo e crescimento da grama;

Desidratado (torta): fase de preparo do solo.

b) Vantagens: Aumento da aeração e capacidade de retenção de líquido no solo e fornecimento de nutrientes às plantas.

- Plantação de cítricos.

a) Aplicação: solo – cultivo de laranja e limão.

b) Vantagens: suprir a deficiência de ferro.

Nesse trabalho será dada ênfase ao uso do lodo para fabricação de tijolos.

### **2.1.1 Caracterização do Lodo ETA/Replan**

De acordo com o Relatório Técnico Petrobras (2006), as análises realizadas para determinar os contaminantes químicos no lodo da ETA/REPLAN são as mesmas realizadas no lodo da ETE/VCP, sendo executadas sobre os mesmos critérios. O responsável pelas análises foi o Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA), um laboratório externo contratado para esta finalidade.

Os valores verificados no extrato lixiviado, são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), sendo assim o lodo da ETA da REPLAN não é classificado como classe I – perigoso.

As concentrações de alumínio, bário, fenóis totais, ferro e manganês, mostradas na Tabela 2.11, encontradas no extrato solubilizado, do lodo da ETA da REPLAN, apresentam-

se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) para as três amostras.

As análises realizadas para determinar os contaminantes químicos no lodo da ETA/REPLAN são as mesmas realizadas no lodo da ETE/VPC, sendo executadas sobre os mesmos critérios. O responsável pelas análises foi o Centro de Qualidade analítica laboratórios (CQA), um laboratório externo contratado para esta finalidade.

Os valores verificados no extrato lixiviado, são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), sendo assim o lodo da ETA da REPLAN não é classificado como classe I – perigoso.

As concentrações de alumínio, bário, fenóis totais, ferro e manganês, mostradas na Tabela 2.2, encontradas no extrato solubilizado, do lodo da ETA da REPLAN, apresentam-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) para as três amostras.

Considerando os resultados obtidos com o lodo da ETA da REPLAN, o mesmo é classificado, portanto, como classe II A – não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

A análise química de massa bruta do lodo da ETA da Replan, no entanto, não apresentou nenhum parâmetro acima do limite estabelecido na listagem 9 da NBR 10004:1987 (ABNT, 1987).

**Tabela 2.2 - Componentes químicos solubilizados no lodo.**

<b>Solubilizado – Lodo da ETA da REPLAN</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 16/01/06</b>	<b>Amostra 2 16/01/06</b>	<b>Amostra 3 16/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L)</b>
Alumínio	7,7	6,7	9,5	0,2
Bário	1,3	1	1,2	0,7
Fenóis totais	1,69	91x10 <sup>-2</sup>	89x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-2</sup>
Ferro	6,6	9,7	7,7	0,3
Manganês	31	31	32	0,1

Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

Conforme observado na Tabela 2.2, os valores elevados de alumínio pode ser consequência do uso do coagulante Policloreto de alumínio (PAC), utilizado na fase de clarificação da água bruta. Já os valores elevados dos outros metais, pode ser consequência

da passagem do rio Jaguari por centros industriais que, eventualmente, pode despejar algum tipo de efluente fora de especificação (VON SPERLING, 1996).

Segundo Pinheiro *et al.* (2014), o resíduo lodo de ETAs possui características químicas-minerológicas semelhantes as argilas da região da bacia hidrográfica, onde o manancial está inserido. Sendo, portanto, um resíduo com grande potencial de incorporação em argilas para confecção de cerâmicas vermelhas.

## **2.2 Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto sanitário ETE**

Resíduo sólido é qualquer material sólido e semissólido, que resulta de atividades industriais, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (NBR 10004:2004).

De acordo com Von Sperling (1996), são três fontes de geração distintas de esgotos que contribuem para a estação de tratamento de esgotos (ETE). São elas: - O esgoto doméstico, as águas de infiltração e os despejos industriais.

O esgoto doméstico é composto pelos domicílios, as instituições e atividades comerciais de uma localidade. Está diretamente relacionado ao consumo de água da respectiva localidade (VON SPERLING, 1996). Segundo o autor, as águas de infiltração são formadas por defeitos provocados na rede de distribuição de água, como furos, vazamentos de juntas e conexões, paredes de poços de visitas.

Já os despejos industriais são os esgotos provenientes das instalações industriais em geral (VON SPERLING, 1996).

As principais características física, química e biológicas das águas residuais são:

- Físicas – Temperatura, cor, odor e turbidez (QASIM, 1985 apud VON SPERLING, 1996).

- Químicas – sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas (QASIM, 1985; ARCEVALA, 1981; METCALF & EDDY, 1991 apud VON SPERLING, 1996).

- Biológicos – Bactérias, Fungos, Protozoários, Vírus e Helminhos (SILVA e MARA (1979); TCHOBANOGLAUS e SCHOROEDER (1985) METCALF & EDDY (1991) apud VON SPERLING (1996)).

Por apresentar uma alta carga orgânica, muitos nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, além de microrganismos patogênicos, que podem ocasionar riscos à saúde pública e ao ambiente, os resíduos sólidos de esgotos não podem ser descartados diretamente ao meio ambiente (CONAMA, 2006). Portanto, é necessário o tratamento desse esgoto em estações de tratamento de esgotos (ETEs), antes de seu descarte ao meio ambiente. Como consequência desse tratamento, são gerados resíduos denominados lodos de ETEs (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Von Sperling (1996), após estabilização, o lodo passa por um processo de adensamento, secagem natural ou mecânica, transporte e descarte, cuja forma mais comumente usada são os aterros sanitários.

Existe a possibilidade também de aplicação na agricultura, porém a necessidade de secagem térmica para eliminação de microrganismos patogênicos além da verificação da quantidade de metais presente no lodo, pois o processo de secagem térmica não elimina tais contaminantes, inviabilizando sua aplicação na agricultura (VON SPERLING, 1996).

Segundo Lee (2011), em seu trabalho de caracterização do lodo de ETEs, verificou que esse pode sofrer alterações em suas características físico-químicas conforme a variação do clima e regionalidade. Segundo o autor, foram analisadas amostras de duas ETE distintas, sendo que, em uma das ETE foram coletadas amostras em dois períodos do ano (fevereiro e março).

Na Estação de Tratamento de Esgotos Jardim das Flores, localizado no município de Rio Claro/SP, foram coletadas amostras no início do mês de fevereiro e no final do mês de maio de 2011. Na Estação de Tratamento de Esgoto de Barão Geraldo, localizada no município de Campinas/SP, foram coletadas outras amostras para avaliar a interferência regional na composição do lodo (LEE, 2011).

Os valores médios encontrados nos lodos das duas ETE estão descritos na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 - Análises físico-químicas do lodo das ETEs.**

	ETE – Jardim das Flores (Fevereiro) (%)	ETE – Jardim das Flores (Maio) (%)	ETE – Barão Geraldo (%)
Teor de Umidade	80	79	79
Teor de Matéria Volátil	60	62,4	48,2
Teor de Cinzas	36,2	33,8	42,7
Teor de Carbono Fixo	5	3,8	8,8

Fonte: Adaptado de Lee (2011).

Como observado na Tabela 2.3 ocorreram variações de nos parâmetros teor de matéria volátil (4%), teor de cinzas (7%) e teor de carbono fixo (14%), respectivamente, para a ETE Jardim das Flores. Os mesmos parâmetros, para a ETE Barão Geraldo, apresentam uma variação de 20%, evidenciando que a região tem uma interferência maior nestas características do lodo do que a diferença de estação climática.

Os resultados das análises de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N) e enxofre (S) são apresentados na Tabela 2.4.

**Tabela 2.4 -- Valores dos parâmetros químicos encontrados nas ETEs.**

ETEs	C	H	N	S
Jardim das Flores (Fevereiro) (%)	27,31	3,95	4,26	1,93
Jardim das Flores (Maio) (%)	32,43	4,77	5,75	2,32
Barão Geraldo (%)	28,86	4,45	3,67	2,21

Fonte: Adaptado de Lee (2011).

Observando-se a tabela 2.4, ocorreu uma variação sistemática nos valores de C, H, N e S. Tal variação se dá pela variação de temperatura média do ambiente, que favoreceu a eficiência dos reatores no período mais frio. Conforme a Estação Metrológica do Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEPLA/UNESP) a temperatura média do mês de fevereiro foi de 24,1°C, e a temperatura média de maio foi de 17,5°C.

Apesar do pouco números de amostras analisadas, existe uma percepção que o clima e a região pode interferir significativamente no resíduo lodo de ETE, no caso o esgoto doméstico.

Durante o trabalho de caracterização de lodos de ETE, para utilização como biomassa na geração, Borges *et al.* (2008) analisaram o lodo sanitário e o lodo industrial.

As amostras do lodo sanitário foram obtidas na ETE-SAMAE-SBS, localizada no município de São Bento do Sul/SC. O lodo industrial têxtil foi fornecido pela empresa Döhler S.A. localizada no município de Joinville/SC. O lodo industrial de papel e celulose foi fornecido pela empresa Rigesa, localizada no município de Três Barras/SC.

Os valores dos teores (%) dos elementos químicos Carbono (C), Hidrogênio (H), Nitrogênio (N), Enxofre (S), para o esgoto sanitário estão descritos na tabela 2.5:

**Tabela 2.5 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de esgotos sanitários.**

Elemento	C	H	N	S
Valor (%)	27,50	4,32	4,40	0,86

Fonte: Adaptado de Borges *et al.* (2008).

Os valores para o lodo industrial têxtil estão apresentados na Tabela 2.6.

**Tabela 2.6 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de ETE têxtil.**

Elemento	C	H	N	S
Valor (%)	27,20	4,00	2,86	0,33

Fonte: Adaptado de Borges *et al.* (2008).

Os valores para o lodo industrial de papel e celulose são apresentados na Tabela 2.7.

**Tabela 2.7 - Valores dos parâmetros químicos do lodo de ETE papel e celulose.**

Elemento	C	H	N	S
Valor (%)	44,8	5,38	1,77	1,76

Fonte: Adaptado de Borges *et al.* (2008).

Comparando os valores obtidos, é perceptível um valor mais elevado do teor de carbono no lodo proveniente do lodo industrial de papel e celulose. O valor elevado de carbono deve-se à presença de material fibroso orgânico, característicos de resíduos de lodo para este tipo de atividade industrial.

Na Tabela 2.8 são apresentados os valores sólidos totais, cinzas, sólidos voláteis e umidade encontrado nos lodos analisado

**Tabela 2.8 - valores dos parâmetros físico-químicos das ETES.**

Lodo	Sólidos Totais (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Sólidos Voláteis (%)
Sanitário	90,9	9,05	47,6	43,3
Papel e celulose	89,1	10,9	13,6	75,5
Têxtil	91,0	8,96	44,3	46,8

Fonte: Adaptado de Borges *et al.* (2008).

Os valores de umidade e cinzas do lodo originário da ETE papel e celulose apresentam valores bem diferentes, dos outros lodos, devido à presença de material inorgânico. Esse material inorgânico é resultado da presença do mineral Caulim (BORGES *et al.*, 2008).

Portanto, conforme os estudos apresentados, o lodo originário de estações de tratamento de esgoto apresenta uma grande quantidade de matéria orgânica, que variam de característica conforme a região onde está instalada a estação. Também se percebe, que a variação da matéria inorgânica está associada a fonte de origem do efluente.

### 2.2.1 Caracterização do lodo da ETE/VCP

Segundo Paiva (2007), em sua dissertação de mestrado sobre o lodo da ETE/VCP, os efluentes líquidos que dão origem ao lodo característico de ETE, na indústria de papel e celulose, são gerados na máquina de papel pela formação e prensagem da folha, sendo denominado água branca.

Esse efluente não pode ser descartado diretamente ao meio ambiente, devido à alta carga de minerais (Caulim) e fibras celulósicas contendo outros resíduos, como a cola, que aumentarão a demanda química e biológica de oxigênio (PAIVA, 2007).

Já o uso do lodo do tratamento de efluentes da indústria papelreira constitui objeto de pesquisa de várias instituições. Algumas vantagens do uso desse resíduo em materiais de construção estão relacionadas:

- Economia de água, uma vez que o resíduo é úmido (BORGES *et al.*, 2008);
- Presença de material inorgânico, Caulim, que possibilita a diminuição da porosidade do material (BORGES *et al.*, 2008);
- Presença de fibras de celulose que possibilitam a diminuição de microfissuras característicos em materiais de cimentação (BORGES *et al.*, 2008);

Segundo Paiva (2007), o aproveitamento do lodo de ETE de indústrias de papel e celulose na produção de materiais cerâmicos para vedação, blocos e tijolos, foi desenvolvido por Nolasco (1997). Segundo a autora, foram testados diferentes traços entre 10 e 30% de resíduo.

Os resultados apontaram para a viabilidade técnica e econômica na utilização do resíduo, pois melhoram as características de acabamento, resistência ao impacto, coesão e trabalhabilidade. Apresentou economia de água, argila e eletricidade na produção. Esse produto se encontra em produção em Piracicaba/SP desde 1996 (PAIVA, 2007).

No relatório técnico Replan/Petrobras (2006), que realizou os estudos de viabilidade técnica de incorporação do lodo da ETA/REPLAN em cerâmica para fabricação de tijolos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) solicitou análises de contaminantes químicos para classificação do resíduo de lodo da ETE/VCP, conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Foram feitas as análises de massa bruta, solubilizado e lixiviado de três amostras do lodo da ETE/VPC, conforme descrito no Anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004).

Os parâmetros analisados na massa bruta do lodo foram: berílio, cromo VI, mercúrio, selênio, arsênio, chumbo, vanádio, cianetos, fenóis, aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, epóxi-heptacloro, heptacloro, hexaclorobenzeno, lindano, metoxicloro, pentaclorofenol, toxafeno, 2,4-D, 2,4,5-T, 2,4,5-TP, benzeno, benzo(a)pireno, cloreto de vinila, clorobenzeno, clorofórmio, cresol total, 1,4- diclorobenzeno, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetileno, 2,4-dinitrotolueno, hexaclorobutadieno, hexacloroetano, metiletilcetona, nitrobenzeno, piridina, tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno, tricloroetileno, 2,4,5-triclorofenol e 2,4,6-triclorofenol;

Já os parâmetros analisados de solubilizado do lodo foram: aldrin e dieldrin, alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, clordano, cloreto, cobre, cromo total, 2,4-D, endrin, fenóis totais, ferro, fluoreto, heptacloro e seu epóxido, hexaclorobenzeno, lindano, manganês, mercúrio, metoxicloro, nitrato, prata, selênio, sódio, sulfato, surfactantes, toxafeno, 2,4,5-T, 2,4,5-TP e zinco;

E os parâmetros analisados de lixiviado do lodo foram: arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, fluoreto, mercúrio, prata, selênio, aldrin + dieldrin, clordano, DDT, 2,4D, endrin, heptacloro e seus epóxidos, lindano, metoxicloro, pentaclorofenol, toxafeno, 2,4,5T, 2,4,5-TP, benzeno, benzo(a)pireno, cloreto de vinila, clorobenzeno, clorofórmio, cresol total, 1,4-diclorobenzeno, 1,2- dicloroetano, 1,1-dicloroetileno, 2,4-dinitrotolueno, hexaclorobenzeno, hexaclorobutadieno, hexacloroetano, metiletilcetona, nitrobenzeno, piridina, tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno, tricloroetileno, 2,4,5-triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol.

De acordo com o Centro de Qualidade Analíticas Laboratórios (CQA), laboratório contratado que efetuou as análises físico-químicas do lodo, valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim o lodo não é classificado como classe I – perigosos. (ABNT, 2004).

As concentrações de fenóis totais, ferro, manganês e nitrato, encontradas no extrato solubilizado, como mostra a Tabela 2.9, apresentam-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004) para as três amostras.

**Tabela 2.9 - Valores das análises químicas do lodo solubilizado.**

<b>Solubilizado – Lodo da ETE da VCP</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 16/01/06</b>	<b>Amostra 2 16/01/06</b>	<b>Amostra 3 16/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L)</b>
Fenóis totais	<b>0,88</b>	<b>1,33</b>	<b>0,7</b>	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	<b>46</b>	<b>35</b>	<b>91</b>	0,3
Manganês	<b>4,9</b>	<b>4,4</b>	<b>4,2</b>	0,1
Nitrato	<b>11,3</b>	<b>12,4</b>	<b>12,4</b>	10

Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

Considerando os resultados o lodo da ETE/VCP é classificado como classe II A– não inerte, segundo a NBR 10004:2004. (ABNT, 2004)

Comparando-se os resultados das análises químicas de massa bruta, Tabela 2.10, com o anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), o único resultado acima do estabelecido nesta norma foi o de fenóis totais em uma única amostra (amostra 1), da triplicata.

**Tabela 2.10 - Análise química de massa bruta.**

<b>Massa Bruta – Lodo da ETE da VCP</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 16/01/06</b>	<b>Amostra 2 16/01/06</b>	<b>Amostra 3 16/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/kg)</b>
Fenóis totais	<b>17,825</b>	8,851	5,929	10,0

Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

Conforme verificado nos estudos anteriores, as características do lodo originário da ETE/VCP, tanto orgânicas e inorgânicas, melhoram a qualidade da matéria prima para a fabricação de tijolos, sendo objeto de vários estudos. A presença de fibras vegetais, que confere maior resistência ao material, uma vez que diminui as microfissuras (PAIVA, 2017). Já o Caulim, diminui a absorção de água, pois reduz a porosidade do material (BORGES *et al.*, 2008).

## 2.3 Impactos ambientais Provocados por ETA e ETE

### 2.3.1 Impactos ambientais que podem ser provocados por ETAs

Segundo Achon *et al.* (2004) os resíduos de ETA se caracterizam por possuir umidade superior a 95% e uma concentração de sólidos superior a 2,5%, sendo classificado como resíduo sólido. Portanto, o lodo de ETA não pode ser lançado diretamente nos corpos d'água, pois possui valores de sólidos sedimentáveis acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (SOUZA; ALMEIDA, 2017).

De acordo com Achon *et al.* (2004), o lodo proveniente de ETAs possui altas concentrações de metais, que são resultado de ações naturais, aplicações de produtos químicos durante o tratamento e ações antrópicas.

Os impactos ambientais que os resíduos de ETAs lançados *in natura* em corpos d'água, podem provocar, são assim descritos por Achon *et al.* (2004):

- Aumento da turbidez: redução da camada eutrófica, sombreamento de macrófitas, soterramento dos bentos;
- Aumento da matéria orgânica: diminuição do oxigênio dissolvido, alteração da biota;
- Metais pesados (alumínio e ferro): variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos.
- Degradação da qualidade ambiental: condições estéticas são afetadas. Aumento dos custos para recuperação e potabilidade desta água. Diminuição de potencialidades para usos à jusante (pesca, recreação, irrigação, abastecimento, etc.).

Segundo Achon *et al.* (2004), os responsáveis pelas ETAs e os órgãos públicos de controle devem ter o profissionalismo e comprometimento necessários para assegurar, tanto à saúde da população, com a distribuição de água potável de qualidade, quanto a preservação do meio-ambiente.

### 2.3.2 Impactos ambientais que podem ser causados por ETEs

De acordo com Von Sperling (1996), bactérias decompositoras estabilizam a matéria orgânica presente em corpos d'água, utilizando o oxigênio disponível no meio líquido. Portanto, a introdução de matéria em excesso provoca o aumento da população dessas bactérias, ocorrendo a diminuição da disponibilidade de oxigênio dissolvido no corpo d'água. Este decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido tem diversas implicações do ponto de vista ambiental, sendo um dos principais a poluição das águas em nosso meio (VON SPERLING, 1996). Ou seja, o descarte de lodo proveniente de ETEs pode provocar a degradação da qualidade ambiental do corpo d'água receptor, como o aumento da carga orgânica e de turbidez (ACHON *et al.*, 2004).

Na tese de doutorado de Fajardo (2019), a autora listou os vários impactos causados por ETEs físicos, bióticos e antrópicos, com base nos estudos de Bolzani (2010), Fernandes (2001), Lara, Andreoli e Pegorini (2001), Lins (2010), Pimpão (2011), Fajardo (2014) e Salvador (2017).

- Meio Físico:
  - Remoção da cobertura vegetal para a construção da ETE;
  - Impermeabilização do solo/aumento do escoamento superficial;
  - Erosão na fase de construção;
  - Assoreamento de corpos d'água;
  - Alteração no relevo/paisagem;
  - Poluição/contaminação do solo e do subsolo por disposição de efluentes, resíduos sólidos, vazamentos, acidentes, esgoto parcialmente tratado, em caso de elevada precipitação pluviométrica, etc.
  - Impactos estéticos advindos da disposição de lodo em aterros sanitários;
  - Poluição/contaminação das águas superficiais e subterrâneas por disposição de efluentes, de lodo, vazamentos, acidentes, etc.

- Poluição/contaminação das águas superficiais por lançamento de nutrientes, produção de cianotoxinas (lagoas de estabilização), mau funcionamento da ETE, acidentes, vazamentos, extravasão;

- Poluição das águas oceânicas e dos sedimentos;

- Despoluição do corpo receptor, melhoria da qualidade das águas superficiais;

- Alteração da qualidade do corpo receptor quando não tratado suficientemente o esgoto;

- Contaminação do corpo receptor em caso de elevada precipitação pluviométrica;

- Prejuízo estético de rios;

- Alteração do regime hidrológico: aumento da vazão/ disponibilidade hídrica na estiagem;

- Poeiras durante a fase de construção;

- Ruídos durante a fase de construção e de operação;

- Eliminação de odores ofensivos devido ao tratamento dos esgotos e pela despoluição do corpo receptor;

- Liberação de odores ofensivos (H<sub>2</sub>S e outros), principalmente na chegada do esgoto à ETE, na grade, na caixa de areia, e em unidades anaeróbias;

- Poluição atmosférica;

- Contaminação atmosférica;

- Aquecimento global;

- Esgotamento de recursos naturais não renováveis;

- Conservação de recursos naturais não renováveis;

- Esgotamento de combustíveis fósseis;

- Recuperação de áreas degradadas.

- Meio Biótico:

- Desmatamento para a construção: supressão de vegetação em geral e de fragmentos florestais;

- Impactos sobre a fauna devido ao desmatamento e durante a fase de operação: destruição do habitat, expulsão da fauna, perturbação/ afugentamento de animais do entorno devido a ruídos;

- Alteração grave do pH de ambientes aquáticos devido ao carreamento de cal
- Impactos sobre o ecossistema aquático por lançamento de nutrientes, mau funcionamento da ETE, acidentes, vazamentos, extravazão: desequilíbrio ecológico; eutrofização, com proliferação excessiva de algas e macrófitas; prejuízos à ictiofauna, por depleção de oxigênio, etc.
- Desequilíbrio e prejuízos à fauna aquática, incluindo a marinha;
- Contaminação de elementos de cadeias alimentares, inclusive marinhas;
- Possibilidade de eutrofização;
- Melhoria das condições para a biota aquática, principalmente a ictiofauna, pela despoluição do corpo receptor.

- Meio Antrópico:

- Desvalorização imobiliária de áreas próximas (Efeito “*NIMBY*”);
- Desapropriações, remoção de populações;
- Risco a sítios arqueológicos devido a escavações na fase de construção;
- Impacto sobre o tráfego das vizinhanças por veículos pesados/ máquinas na construção, por caminhões de transporte de lodo;
- Impacto nas finanças do órgão de saneamento e nas tarifas dos serviços;
- Problemas de saúde pública, inclusive aos trabalhadores das ETEs, por mau funcionamento da ETE, acidentes, vazamentos, extravazão, produção de aerossóis patogênicos, atração/procriação de vetores de doenças (nos resíduos preliminares gerados, por exemplo), etc.
- Problemas de saúde de trabalhadores das ETEs, devido à irritação da pele e mucosas quando em contato com a cal (aplicação manual);
- Impacto sobre a população, inclusive aos trabalhadores das ETEs, devido a ruídos, odores ofensivos e emissão de gases sem tratamento;
- Riscos de explosão, como próximo a reatores UASB;
- Impactos sobre a população em decorrência da exposição, características, meios de transporte e rotas de infecção do lodo;
- Impactos sociais advindos da disposição de lodo em aterros sanitários;
- Impactos sociais advindos da destinação de lodo à reciclagem agrícola;

- Impactos associados ao local de disposição de cinzas de lodo;
- Sobrecarga de aterros sanitários devido à destinação de resíduos em grandes quantidades;
- Exemplo positivo à comunidade, instrumento de educação ambiental e de maior consciência ambiental;
- Melhoria da qualidade de vida e das condições de saúde pública, pela despoluição/descontaminação dos corpos d'água;
- Melhoria de imagem da administração pública e do prestador dos serviços;
- Impacto sobre a paisagem urbana;
- Geração de empregos, demanda por bens e serviços, recolhimento de impostos, dinamização da economia;
- Valorização imobiliária de áreas ao longo das margens dos corpos d'água, pela sua despoluição;

No tratamento anaeróbico de esgotos sanitários em ETEs, como por exemplo por meio de Reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente – RAFA ou USAB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) é gerado o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) que uma vez queimado em queimadores do tipo *flaire*, é convertido em gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), gás que contribui para o aumento do efeito estufa (FAJARDO, 2019).

Além disso, a autora aponta que durante o tratamento de esgotos, é gerado o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) que é tóxico em altas concentrações e possui odor ofensivo, incômodo, para a população ao redor das ETEs (FAJARDO, 2019).

Diante do exposto, pode-se afirmar, portanto, que tanto o lodo proveniente de ETA quanto o de ETE, possuem características que impactam negativamente e, dessa maneira, não podem ser descartados de qualquer maneira, necessitando uma destinação adequada.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Segundo Prodanov (2013), o estudo de caso consiste em coletar e analisar informações, de acordo com o assunto da pesquisa. É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, entendido como uma categoria de investigação que tem como objeto o estudo de uma unidade de forma aprofundada. São necessários alguns requisitos básicos para sua realização, entre os quais, severidade, objetivação, originalidade e coerência.

Por se tratar de um estudo de viabilidade técnica do aproveitamento do lodo da ETA/Replan, como matéria prima para a fabricação de tijolos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB exigiu que as análises solicitadas fossem executadas por laboratórios externos e independentes. Nesse sentido, todos os equipamentos e procedimentos para análises foram fornecidos por esses laboratórios. Portanto, o estudo realizado teve como foco os resultados das análises como referência da viabilidade técnica.

#### **3.1 Unidades de análise**

##### **3.1.1 Estação de Tratamento de Água – ETA/Replan**

A Estação de Tratamento de água da Refinaria da Petrobrás – ETA/REPLAN - está localizada na rodovia Prof. Zeferino Vaz, Km 130 S/N (SP-332), em Paulínia/SP e possui 2.800 funcionários próprios e contratados. A ETA/REPLAN tem como produtos:

- Água potável (A-P);
- Água para combate a incêndios (RACE);
- Água para resfriamento de equipamentos (A-R);
- Água desmineralizada para geração de vapor (A-V);
- Água industrial (A-D).

Neste sentido, a ETA-Replan possui:

- 03- tanques de armazenamento de água bruta (A-B), totalizando um armazenamento de 53.000m<sup>3</sup>;
- 03- decantadores *Pulsator*, totalizando uma vazão de água clarificada de 3.900m<sup>3</sup>/h;
- 10- filtros de areia, totalizando uma vazão de água filtrada de 1.280m<sup>3</sup>/h;

- 05- cadeias de desmineralização, para produção de água a vapor (A-V), com vazão total de 560m<sup>3</sup>/h.

- 04- unidades de ultrafiltração, para geração de vapor (A-V), com vazão total de 600m<sup>3</sup>/h.

- 03- unidades de osmose reversa, para geração de vapor (A-V), com vazão total de 350m<sup>3</sup>/h.

A captação de água bruta, para a ETA/Replan, é realizada no rio Jaguari, em Paulínia/SP, por meio do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Consórcio PCJ).

A água bruta é captada por cinco bombas e transportada por três adutoras até três tanques de armazenamento, sendo dois de 16500m<sup>3</sup> e um de 20000m<sup>3</sup> (Figura 2.1). Possui aspecto “barrento” com alta turbidez, pois a água do rio recebe elevada carga orgânica que, juntamente com minerais, fica em suspensão. Já neste momento, parte da água bruta é reservada para a utilização em um sistema de combate a incêndios. Essa água fica armazenada nos tanques de armazenamento de água bruta.

Nos tanques de armazenamento de água bruta, ocorre a sedimentação de partículas grosseiras, como galhos de árvores, folhas, entre outros, e a decantação da água bruta é transportada para um outro reservatório localizado nas dependências da ETA/Replan.

Neste reservatório, ocorre uma pré-cloração, que tem como finalidade reduzir a matéria orgânica presente na água e facilitar sua clarificação. A Figura 2.2 a seguir ilustra os processos de tratamento primário de água da ETA/Replan. O tratamento primário é constituído das operações de clarificação, filtração e desinfecção da água, não incluindo a desmineralização de água.

O tratamento primário é constituído das operações de clarificação, filtração e desinfecção da água, não incluindo a desmineralização de água.

Do reservatório, a água bruta flui por uma calha *Parshall*, que mede sua vazão de entrada, para três decantadores *Pulsators* (A, B e C). Neste percurso, a água bruta recebe cloro (Cl<sub>2</sub>) e uma dose de Policloreto de alumínio (PAC), coagulante que tem como finalidade promover a agregação de pequenas partículas em suspensão na água. Os flocos

maiores formados pela adição do coagulante são sedimentados nos fundos dos decantadores por efeito da gravidade, gerando uma parte do lodo da ETA/Replan.

A água que sai dos decantadores Pulsators é denominada de água clarificada (A-C), e flui para os filtros de areia. Na Figura 3.1 é apresentado um decantador Pulsator.

**Figura 3.1 - Vista parcial de um decantador Pulsator**



Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Parte desta água clarificada, no entanto, é utilizada como reposição de torres de resfriamento da Replan, cuja finalidade é, portanto, resfriar as unidades do processo-, tornando-se Água de resfriamento (AR). Outra parte segue como água industrial para a unidade da Braskem em Paulínia/SP, empresa do setor petroquímico que produz resinas termoplásticas e insumos químicos. Esta parte da água que segue para a Braskem passa ainda pelos processos de ultrafiltração e osmose reversa na própria empresa, produzindo água desmineralizada (Figura 3.2).

**Figura 3.2 – Vista da Ultra-filtração**



Fonte: Arquivo do Autor (2020)

Nos filtros de areia ocorre o processo de filtração, em que são retidas as partículas que não se sedimentaram nos decantadores Pulsators. Essa etapa age, portanto, como complementação à decantação, e tem como finalidade reduzir a turbidez, eliminar partículas coloidais e bactérias. A água utilizada na lavagem dos filtros forma outra parte do lodo da ETA.

Uma parte da água filtrada recebe injeção de solução de hidróxido de sódio (NaOH), para correção de pH que deve ficar numa faixa entre 6,5 a 8,5, e cloro (Cl<sub>2</sub>) para garantir o padrão de potabilidade, conforme recomendação da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, artigos nº 3 e 4 (Ministério da Saúde, 2017). A água potável (AP) é utilizada no consumo geral pela população da refinaria e uma parcela segue para a Brasken, com vazão média de 80m<sup>3</sup>/h.

Outra parte da água filtrada que também recebe solução de hidróxido de sódio para controle de pH, numa faixa entre 7,5 e 8,5, é utilizada como água industrial (AD), cuja aplicação não requer muita qualidade, e tem como aplicações como selagem de equipamentos e limpeza de áreas industriais. A ETA/Replan também fornece água tratada para outras companhias do polo petroquímico, como a Exxon e a Brasken.

Grande parte da água filtrada, contudo, vai para a reposição das torres de resfriamento a exemplo de parte da água clarificada, de modo que a água de resfriamento (A-R) recebe produtos químicos como anti-incrustantes, algicidas e fungicidas.

Outra corrente da água filtrada (AZ) é utilizada nas cadeias de desmineralização, cuja finalidade é a geração de vapor para o processo de refino de petróleo e geração de

eletricidade. A água desmineralizada (AV) é obtida por meio da troca iônica entre a água filtrada e resinas catiônicas/aniônicas.

Outro processo de obtenção de água desmineralizada é a ultra-filtração/osmose reversa (Figura 3.2). Na ultra-filtração, a água clarificada (A-C) é forçada a passar por membranas que retêm partículas coloidais, bactérias, proteínas, entre outros.

**Figura 3.3 - Detalhe das membranas da Ultra-filtração.**



Fonte: Arquivo do Autor (2020).

Após a ultrafiltração, a AC passa por câmaras onde é realizada a osmose reversa, que remove os sais minerais diluídos na mesma.

Já o lodo acumulado no fundo dos decantadores é transferido para um tanque de armazenamento, que também recebe a água de lavagem dos filtros de areia (Figura 3.4) e, em seguida, segue para uma centrífuga (Figura 3.5), para que haja a separação das fases sólida e aquosa. Para facilitar o processo de desaguamento do lodo é adicionado o polímero sintético KURITA PN-171 de característica catiônica.

**Figura 3.4 - Vista do tanque de armazenamento de lodo.**



Fonte: Arquivo do Autor (2020).

**Figura 3.5 - Vista da centrífuga.**



Fonte: Arquivo do Autor (2020).

O lodo desidratado (Figura 3.6) é acondicionado então em caçambas para ser destinado, o que será objeto de estudo deste trabalho, e água retirada do lodo retorna para o início do tratamento de água da ETA/Replan.

**Figura 3.6 - Vista do lodo desidratado**



Fonte: Arquivo do Autor (2020).

### **3.1.2 Estação de Tratamento de Esgoto – ETE/VCP**

No ano de 2011 a Votorantim Papel e Celulose passou a ser controlada pela OJI Papeis Especiais, que, segundo a nova empresa, mantém a mesma política de gestão ambiental da antiga controladora.

De acordo com Paiva (2007), o efluente líquido gerado na produção de papel e celulose da ETE/VCP, é tratado da seguinte forma:

- Tratamento primário – retirada de sólidos grosseiros, por equipamentos que utilizam processos físicos simples como gradeamento e decantação;

- Tratamento secundário – é o processo biológico, no qual a carga orgânica é degradada por microrganismos, sendo constituído por lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos e/ou lodos ativados. Reduzir a DBO é a principal função desta etapa do tratamento;

- Tratamento terciário – são processos que melhoram as características das águas residuais como a DQO e a DBO, processos para a redução de cor e absorção química, redução de espuma e sólidos inorgânicos.

Segundo a empresa, o resíduo é classificado como classe II-A (não perigoso, não inerte) conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), e a sua geração mensal é de 750ton (úmido). O principal destino dos resíduos sólidos gerados no processo produtivo são indústrias cerâmicas, através de técnicas de coprocessamento para fabricação de tijolos (OJI, 2020). A Figura 3.7 mostra uma visão geral da ETE/VCP.

**Figura 3.7 - Vista geral da ETE Votorantim**

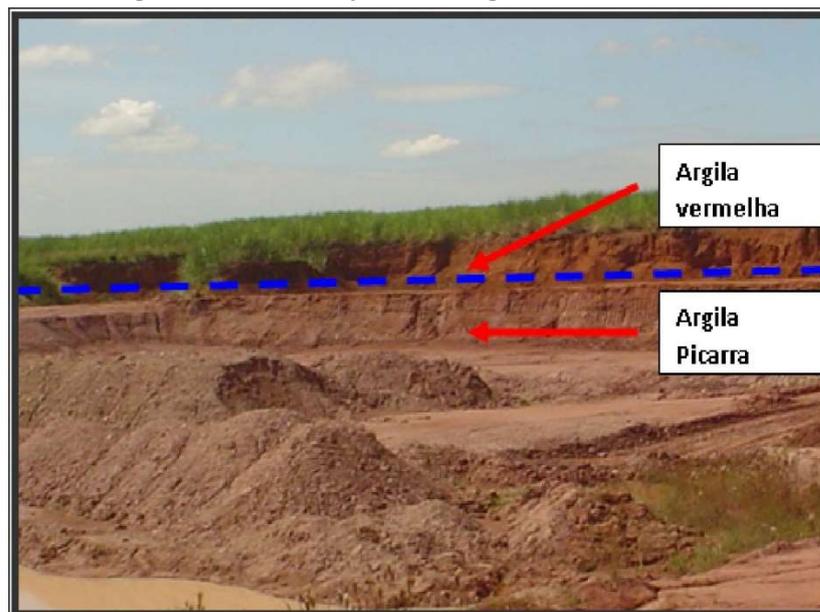


Fonte: OJI – Papéis especiais (2011).

### **3.2 Materiais**

A matéria-prima utilizada para a produção de tijolos maciços na Olaria Schiavolin é composta pelas argilas vermelha e piçarra, com a adição do lodo da ETA/Replan (Figura 3.9) e a ETE/ VCP (Figura 3.10). Na Figura 3.8 são apresentados os detalhes da jazida, onde é obtida a argila para fabricação dos tijolos. Como se pode observar nesta figura, a argila vermelha é encontrada na camada mais próxima à vegetação, enquanto a argila piçarra na camada seguinte.

**Figura 3.8 - Vista da jazida de argila Schiavolim**



Fonte: Relatório Técnico – Replan (2006).

**Figura 3.9 - Lodo da ETA/Replan**



Fonte: Arquivo do autor (2020).

**Figura 3.10 - Lodo ETE/VCP**



Fonte: Paiva (2007).

O material dos ensaios de classificação do lodo da ETA/Replan foi amostrado e analisado por um laboratório externo de análises, o Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA), de acordo com os preceitos da NBR-10.007:2004- Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004). As análises foram realizadas, portanto, por um técnico da CQA, acompanhado por um técnico da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e um técnico da Petróleo Brasileiro S/A (PETROBRAS). As amostras de tijolos verdes para análise de lixiviados estão indicadas na Figura 3.11, e as de tijolos queimados para a análise de lixiviados, efluentes gasosos, absorção de água, toxicidade e resistência à compressão, nas Figuras 3.12 e 3.13.

**Figura 3.11 - Amostras de tijolos verdes para análises.**



Fonte: Relatório Técnico – ETA/Replan (2006).

**Figura 3.12 - Amostras de tijolos queimados para análises**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

**Figura 3.13 - Amostra de tijolos queimados para análises.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

### **3.3 Equipamento**

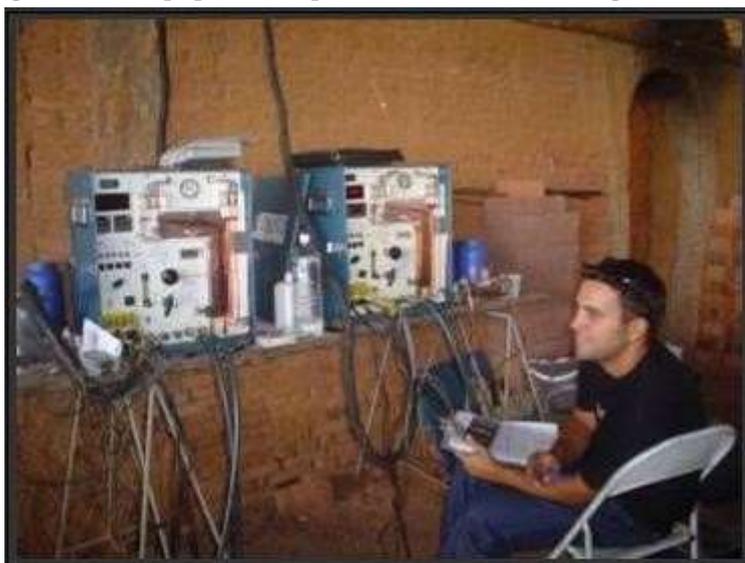
#### **3.3.1 Equipamentos utilizados para análise de lixiviados**

As análises de lixiviados foram realizadas pelo Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA), um laboratório externo a pedido da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

#### **3.3.2 Equipamentos utilizados para amostragem de efluentes gasosos**

As coletas e os ensaios dos gases de exaustão foram realizados pelo laboratório contratado Bioagri Ambiental Ltda. Os equipamentos analisadores de gases on-line utilizados para a coleta e análises é apresentada na Figura 3.14.

**Figura 3.14 - Equipamentos para análises de efluentes gasosos.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

### **3.3.3 Equipamentos para análise de absorção de água**

As análises de toxicidade das amostras foram realizadas pelo Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos (LMPSol), um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB.

### **3.3.4 Equipamentos para a análises de toxicidade**

As análises de toxicidade das amostras foram realizadas pelo Bioagri, um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB.

### **3.3.5 Equipamentos para a análise de resistência à compressão**

As análises de toxicidade das amostras foram realizadas pelo Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos (LMPSol), um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB.

### 3.3.6 Equipamentos utilizados na fabricação dos tijolos

#### 3.2.2.1 Sistema misturador de pás e extrusora.

O sistema Misturador de pás e Extrusora (Figura 3.15), foram desenvolvidos pela Olaria Schiavolin com base em experiências e maquinário próprio. A capacidade de produção é de 80 tijolos por minuto.

**Figura 3.15 - Sistema misturador de pás e extrusora.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

#### 3.2.2.2 Mesa de corte.

A mesa de cortes de tijolos é da marca *Rogefran*, modelo *standart* e é posicionada na saída da extrusora. Possui fios de arame que cortam transversalmente o perfil extrudado, definindo a altura dos tijolos, como mostrado na Figura 3.8. Corta aproximadamente 20 tijolos de cada vez.

**Figura 3.16 - Vista da mesa de corte.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

### 3.2.2.3 – Fornos de alvenaria

Ao todo são quatro fornos dispostos dois a dois, no pátio da olaria. Cada forno tem 3,4 m de espessura, 11 m de comprimento e altura de até 3,2 m no ponto máximo (Figura 3.17).

Ao longo do comprimento dos fornos, ao nível do chão, existem cinco aberturas laterais equidistantes onde se processa a queima da lenha, na parede oposta, também ao nível do chão, há pequenas saídas para os gases que são canalizados até uma chaminé comum para cada dois fornos.

**Figura 3.17 - Fornos de alvenaria para queima de tijolos.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

#### 3.2.2.4 Pátio de armazenamento e secagem dos tijolos.

A Figura 3.18 mostra o galpão construído com estrutura metálica para a secagem de tijolos verdes e armazenamento de tijolos queimados.

**Figura 3.18 - Pátio de armazenamento e secagem.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

### 3.4 Procedimento Experimental

Todos os procedimentos experimentais, aqui descritos, foram retirados do relatório técnico Petrobras (2006).

As quantidades de lodo e argila utilizados na fabricação dos tijolos durante o teste de queima foi a seguinte:

- a) Massa de argila (base úmida): 44.800 Kg.**
- b) Massa de resíduo (lodo de ETE/VCP): 19.200 Kg.**
- c) Massa de resíduo (lodo de ETA/Replan): 16.000 Kg.**

O plano de teste de queima dos tijolos definiu como foram feitos: a incorporação do lodo da ETA/Replan e ETE/VCP, as coletas, as análises e os ensaios. Houve o acompanhamento da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em todas as etapas dos testes e as normas que devem ser atendidas. A porcentagem de lodo da ETA a ser incorporada à massa cerâmica foi de até 20%.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB solicitou as análises e os parâmetros que constam no Quadro 3.1.

**Quadro 2.1 - Análises solicitadas.**

<b>Análises na Massa Bruta</b>	berílio, cromo VI, mercúrio, selênio, arsênio, chumbo, vanádio, cianetos, fenóis, aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, epóxi-heptacloro, heptacloro, hexaclorobenzeno, lindano, metoxicloro, pentaclorofenol, toxafeno, 2,4-D, 2,4,5-T, 2,4,5-TP, benzeno, benzo(a)pireno, cloreto de vinila, clorobenzeno, clorofórmio, cresol total, 1,4-diclorobenzeno, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetileno, 2,4-dinitrotolueno, hexaclorobutadieno, hexacloroetano, metiletilcetona, nitrobenzeno, piridina, tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno, tricloroetileno, 2,4,5-triclorofenol e 2,4,6-triclorofenol;
<b>Análises no Extrato Lixiviado</b>	arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, fluoreto, mercúrio, prata, selênio, aldrin + dieldrin, clordano, DDT, 2,4D, endrin, heptacloro e seus epóxidos, lindano, metoxicloro, pentaclorofenol, toxafeno, 2,4,5T, 2,4,5-TP, benzeno, benzo(a)pireno, cloreto de vinila, clorobenzeno, clorofórmio, cresol total, 1,4-diclorobenzeno, 1,2-dicloroetano, 1,1-dicloroetileno, 2,4-dinitrotolueno, hexaclorobenzeno, hexaclorobutadieno, hexacloroetano, metiletilcetona, nitrobenzeno, piridina, tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno, tricloroetileno, 2,4,5-triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol
<b>Análises no Extrato Solubilizado</b>	aldrin e dieldrin, alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianeto, clordano, cloreto, cobre, cromo total, 2,4-D, endrin, fenóis totais, ferro, fluoreto, heptacloro e seu epóxido, hexaclorobenzeno, lindano, manganês, mercúrio, metoxicloro, nitrato, prata, selênio, sódio, sulfato, surfactantes, toxafeno, 2,4,5-T, 2,4,5-TP e zinco

Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

As análises da massa bruta, têm como objetivo verificar as características dos resíduos e insumos minerais de acordo com o SW846 – *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods da United States Environment Protection Agency (USEPA)*.

As análises do extrato lixiviado foram feitas conforme a NBR - 10005:2004 (ABNT, 2005) - Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, e os parâmetros comparados com o Anexo F NBR-10004:2004 (ABNT, 2004a) - Limites máximos no extrato obtido no ensaio de lixiviação.

As análises do solubilizado foram realizadas de acordo com a NBR 10006:2004 (ABNT, 2004c) - Procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, e os parâmetros comparados com o Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a) - Padrões para o ensaio de solubilização.

As análises de todos os parâmetros foram executadas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition*, publicado pela *Water Environment Association, American Water Works Association e American Public Health Association*.

É importante ressaltar que todos os testes foram acompanhados pelos técnicos da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) de São Paulo e Piracicaba.

A seguir, serão detalhados os procedimentos experimentais para cada tipo de análise realizada: lixiviados de tijolos verdes e queimados, efluentes gasosos, absorção de água, toxicidade e resistência à compressão, nas Figuras 3.4 e 3.5.

#### **3.4.1 Procedimentos experimentais para análises de lixiviados**

As análises de lixiviados das amostras foram realizadas pelo Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA), um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

#### **3.4.2 Procedimentos experimentais para análises de efluentes gasosos**

Quanto aos efluentes gasosos, as amostragens foram feitas nos fornos com os tijolos sem resíduo (teste em branco) e com resíduo (teste de queima). Os parâmetros de emissão analisados foram os seguintes:

- Material particulado (MP);
- Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>);
- Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>);
- Substâncias inorgânicas classe I, II e III (excluindo mercúrio e incluindo cianetos);
- Ácido clorídrico (HCl);
- Cloro livre (Cl<sub>2</sub>);
- Flúor (F<sup>-</sup>) e;

- Ácido fluorídrico (HF).

Para que as amostragens tivessem resultados confiáveis, foi necessário que todas as análises fossem realizadas no mesmo conjunto de fornos, sempre no terceiro dia após o fechamento do forno.

Além disso, para assegurar mais ainda o resultado, todas as amostras foram coletadas em triplicatas, três coletas para cada parâmetro, sendo que para NOx foram coletados nove balões com intervalo, de no mínimo, 15 minutos.

As coletas e os ensaios dos gases de exaustão foram realizados pelo Laboratório Bioagri Ambiental Ltda.

Amostras dos tijolos confeccionados foram realizadas e enviados ao Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos (LMPSol), do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para a realização dos testes físicos.

Todas as amostragens atenderam as normas técnicas vigentes da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB):

- L9.221 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação dos Pontos de Amostragem - Procedimento (julho/90).

- L9.222 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação da Velocidade e Vazão dos Gases - Método de Ensaio (maio/92).

- L9.223 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação da Massa Molecular Seca e do Excesso de Ar do Fluxo Gasoso - Método de Ensaio (junho/92).

- L9.224 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação da Umidade dos Efluentes - Método de Ensaio (agosto/93).

- L9.225 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Material Particulado - Método de Ensaio (setembro/95).

- L9.228 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Dióxido de Enxofre e de Névoas de Ácido Sulfúrico e Trióxido de Enxofre - Método de Ensaio (junho/92).

- L9.229 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Óxidos de Nitrogênio - Método de Ensaio (outubro/92).

- E16.030 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Calibração dos Equipamentos Utilizados na Amostragem de Efluentes - Método de Ensaio (maio/95).

- *Method 29 - Methodology for the Determination of Multi-Metals Emissions in Exhaust Gases from Hazardous Waste Incineration and Similar Combustion Processes* (Environmental Protection Agency, 2017).

- *Method 0050 - Isokinetic HCl/Cl<sub>2</sub> emissions sampling train* (Environmental Protection Agency, 2017).

- L9.213 - Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias - Determinação de Fluoretos pelo Método do Eletrodo de Íon Específico - Método de Ensaio (setembro/95).

É importante ressaltar que o combustível utilizado na Olaria Schiavolin para queima dos tijolos é madeira de eucalipto (Figura 3.19).

**Figura 3.19 - Madeira Eucalipto utilizado como combustível.**



Fonte: Relatório Técnico Petrobras (2006).

### **3.4.3 Procedimentos experimentais para análise de absorção de água**

As análises de absorção de água das amostras foram realizadas pelo ao Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos (LMPSol), um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

#### **3.4.4 Procedimentos para análise de toxicidade**

Foram realizados testes de toxicidade aguda com a bactéria *luminescente Vibrio fischeri*, sistema *microtox*. Os testes foram conduzidos pelo laboratório BIOAGRI, um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

#### **3.4.5 Procedimentos experimentais para análises de resistência à compressão**

As análises de resistência à compressão das amostras foram realizadas pelo ao Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos Não-Metálicos (LMPSol), um laboratório externo por solicitação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

## 4 Resultados e discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises realizadas pelos laboratórios independentes, como exigido pela CETESB.

### 4.1 Resultados das análises da Argila Vermelha

Foram enviadas três amostras de argila vermelha ao Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (CQA) para análises de extrato lixiviado, solubilizado e massa bruta. Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores encontrados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim a argila vermelha não é classificada como classe I – perigosos (ABNT, 2004).

A Tabela 4.1 apresenta as concentrações de fenóis totais encontradas no extrato solubilizado acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras.

Tabela 4.11 – Análise de solubilizado da argila vermelha.

Solubilizado – Argila Vermelha				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004
Fenóis totais	77x10 <sup>-2</sup>	89x10 <sup>-2</sup>	82x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-2</sup>

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

A Tabela 4.2 apresenta as concentrações de fenóis totais encontradas na análise de massa bruta da argila vermelha.

Tabela 4.12 - Análise de massa bruta da argila vermelha

Massa Bruta – Argila Vermelha				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/kg) NBR 10004:2004
Fenóis totais	6,184	14,902	8,725	10,0

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006)

Comparando-se os resultados de análises químicas de massa bruta, da Tabela 4.2, com o anexo G da NBR 10004:2004, o único resultado acima do estabelecido nesta norma foi o de fenóis totais em uma única amostra (amostra 2), da triplicata.

Considerando os resultados das análises a argila vermelha é classificada como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Apesar de ser considerado um material não perigoso, a argila vermelha não um material inerte e não podem ser descartados de forma inadequada. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois são antimicrobianos e fitotóxicos (SANTOS, 2011).

#### 4.2 Resultados das análises da Argila Piçarra

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim a argila piçarra não é classificada como classe I – perigosos (ABNT, 2004).

Os resultados dos parâmetros acima do estabelecido para o extrato solubilizado das três amostras são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.13 - Análises de solubilizado da argila piçarra.

Solubilizado – Argila Piçarra				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004
Alumínio	1,6	1,2	1,4	0,2
Fenóis totais	$31 \times 10^{-2}$	$49 \times 10^{-2}$	$65 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	0,82	0,64	0,68	0,3
Nitrato	8,3	8,4	14,7	10

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

Conforme observado as concentrações de alumínio, fenóis totais e ferro encontradas no extrato solubilizado apresentam-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 para as três amostras. A concentração de nitrato encontrada no extrato solubilizado apresentou um resultado acima do limite estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 apenas para a amostra 3.

Tabela 4.14 - Análise de massa bruta da argila piçarra.

Massa Bruta – Argila Piçarra				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/kg) NBR 10004:2004
Fenóis totais	0,793	9,386	<b>11,564</b>	10,0

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

Comparando-se os resultados das análises químicas de massa bruta da Tabela 4.4 com o anexo G da NBR 10004:2004, o único resultado acima do estabelecido nesta norma foi o de fenóis totais em uma única amostra (amostra 3), da triplicata.

Considerando os resultados das análises a argila piçarra é classificada como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004:2004. Apesar de ser considerado um material não perigoso, a argila Piçarra não um material inerte e não podem ser descartados de forma inadequada. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

### 4.3 Resultados das análises do Lodo VCP

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim o Lodo da ETE/VCP não é classificado como classe I – perigosos (ABNT, 2004).

Os valores dos parâmetros de solubilizado acima dos valores estabelecidos são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.15 - Análise de solubilizado de lodo da ETE/VCP.

Solubilizado – Lodo da ETE da VCP				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004
Fenóis totais	0,88	1,33	0,7	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	46	35	91	0,3
Manganês	4,9	4,4	4,2	0,1
Nitrato	11,3	12,4	12,4	10

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de Fenóis totais, Ferro, Manganês e Nitrato, encontradas no extrato solubilizado apresentam-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 para as três amostras (ABNT, 2004).

De acordo com Paiva (2007), a análise de solubilizado do lodo da ETE/VCP as concentrações de Fenóis totais (0,06), Ferro (28,0), Manganês (3,0) e Cromo total (1,26) apresentaram acima do estabelecido pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Tabela 4.16 - Análise de massa bruta do lodo da ETE/VCP.

Massa Bruta – Lodo da ETE da VCP				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/kg)
Fenóis totais	17,825	8,851	5,929	10,0

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

Comparando-se os resultados das análises químicas de massa bruta, Tabela 4.6, com o anexo G da NBR 10004:2004, o único resultado acima do estabelecido nesta norma foi o de fenóis totais em uma única amostra (amostra 1), da triplicata.

Segundo Paiva (2007), a análise de massa bruta do lodo da ETE/VCP não apresentou nenhum parâmetro acima do estabelecido pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises o Lodo da ETE/VCP é classificado como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Apesar de não ser classificado como um resíduo perigoso o resíduo lodo da ETE/VCP apresentou quantidades de fenóis e metais acima do estabelecido pela NBR 10004:2004 e, portanto, não podem ser lançados diretamente ao solo ou corpos d'água, pois pode impactar de forma negativa o meio ambiente. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e

fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos. Os Nitratos favorecem a eutrofização dos corpos d'água (ACHON *et al.*, 2004).

Estudos realizados por Paiva (2007), concluíram que uma quantidade entre 10 e 30% do lodo da ETE/VCP adicionada à massa argilosa para fabricação de tijolos, apresentaram uma melhora significativa na qualidade final do produto.

#### 4.4 Resultados das análises do Lodo da ETA/Replan

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim o Lodo da ETA/Replan não é classificado como classe I – perigosos.

Tabela 4.17 - Análises de solubilizado do lodo da ETA/Replan.

Solubilizado – Lodo da ETA da REPLAN				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004
Alumínio	7,7	6,7	9,5	0,2
Bário	1,3	1	1,2	0,7
Fenóis totais	1,69	91x10 <sup>-2</sup>	89x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-2</sup>
Ferro	6,6	9,7	7,7	0,3
Manganês	31	31	32	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de Alumínio, Bário, Fenóis totais, Ferro e Manganês, encontradas no extrato solubilizado, Tabela 4.7, apresentam-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 para as três amostras (ABNT, 2004).

Segundo Margem (2008), em sua dissertação de mestrado, encontrou concentrações de Alumínio (13,4), Cromo total (0,497), Ferro (14,3), Manganês (0,136) e Sulfato (264) em análises de solubilizado do lodo da ETA do município de Campos dos Goytacazes – RJ.

A análise química de massa bruta do lodo da ETA/Replan não apresentou nenhum parâmetro acima do limite estabelecido no anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises o Lodo da ETA/Replan é classificado como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Apesar de não ser classificado como um resíduo perigoso, os resíduos de ETAs não podem ser descartados diretamente no solo ou corpos d'água. De acordo com Achon *et al.* (2004), o lodo proveniente de ETAs possui altas concentrações de metais, que são resultado de ações naturais, aplicações de produtos químicos durante o tratamento e ações antrópicas.

Os impactos ambientais que os resíduos de ETAs lançados *in natura* em corpos d'água, podem provocar, são assim descritos por Achon *et al.* (2004):

- Aumento da turbidez: redução da camada eutrófica, sombreamento de macrófitas, soterramento dos bentos;

- Aumento da matéria orgânica: diminuição do oxigênio dissolvido, alteração da biota;

- Metais pesados (alumínio e ferro): variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desamino generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos.

- Degradação da qualidade ambiental: condições estéticas são afetadas. Aumento dos custos para recuperação e potabilidade desta água. Diminuição de potencialidades para usos à jusante (pesca, recreação, irrigação, abastecimento, etc.).

Segundo Achon *et al.* (2004), o tratamento e disposição adequada dos lodos provenientes de ETAs é uma grande oportunidade de geração de receitas, principalmente, na redução de custos e impactos ambientais em diversas empresas e serviços autônomos de saneamento básico em várias partes do mundo. Uma aplicação considerada seria a incorporação dos resíduos provenientes de ETAs em massa argilosa para fabricação de tijolos (ACHON *et al.*, 2004).

## 4.5 Resultados das análises de Tijolos Verdes (não queimados)

### 4.5.1 Tijolos Verdes com Argilas Vermelha e Piçarra e Lodo da ETE da VCP

Foram enviados para análises seis amostras de tijolos verdes (não queimados), com duas alturas distintas e compostos por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.

#### a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.8 apresenta os parâmetros com valores acima do especificado pelo anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Tabela 4.18 - Análises de solubilizado para Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.

Solubilizado (5cmx10cmx21cm)				
Parâmetros	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06	Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004
Fenóis totais	7x10 <sup>-2</sup>	22x10 <sup>-2</sup>	1,27	1x10 <sup>-2</sup>
Fluoreto	1,98	1,38	1,4	1,5

Fonte: Centro de Qualidade analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de fenóis totais encontrados no extrato solubilizado apresentaram valores acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 para as três amostras. A concentração de fluoreto encontrada no extrato solubilizado (amostra 1) apresentou um único resultado acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises obtidos com os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP os mesmos são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha, como pelo lodo da ETE/VCP. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011).

### b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.9 apresenta os parâmetros com valores acima do Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.19 - Análise de solubilizado para Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

<b>Solubilizado (8cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 09/01/06</b>	<b>Amostra 2 09/01/06</b>	<b>Amostra 3 09/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	<b>0,8</b>	<b>0,29</b>	0,13	0,2
Fenóis totais	<b><math>4,2 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>54,9 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>19,9 \times 10^{-2}</math></b>	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	<b>2</b>	<b>4,5</b>	<b>3,5</b>	0,3
Manganês	<b>1,2</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica (2006)

A concentração de alumínio encontrada no extrato solubilizado apresentou dois resultados acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004. As concentrações de Fenóis totais, Ferro e Manganês, encontradas no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha, como pelo lodo da ETE/VCP. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desânimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### **4.5.2 Tijolos Verdes com Argilas Vermelha e Piçarra, Lodo da ETE/VCP e Lodo da ETA/Replan**

Foram enviadas seis amostras de tijolos verdes (não queimados), com duas alturas distintas, composto por argilas vermelhas, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.

##### **a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes (não queimados), composto por argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.10 apresenta os parâmetros com valores acima do estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.20 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes compostos por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

<b>Solubilizado (5cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 6/02/06</b>	<b>Amostra 2 6/02/06</b>	<b>Amostra 3 6/02/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	0,29	0,3	0,22	0,2
Fenóis totais	$31,4 \times 10^{-2}$	$30,2 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Manganês	0,25	0,18	3,3	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica, (2006).

As concentrações de alumínio e manganês encontradas no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de fenóis totais encontradas no extrato solubilizado apresentaram dois resultados acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos verdes utilizando argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan foram classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha, como pelo lodo da ETE/VCP. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). A concentração elevada de Alumínio pode ser consequência da aplicação do Policloreto de Alumínio utilizado na sedimentação do lodo da ETA/Replan. Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### **b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes (não queimados), composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.11 apresenta os parâmetros acima dos valores estabelecidos na NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.21 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

<b>Solubilizado (8cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 6/02/06</b>	<b>Amostra 2 6/02/06</b>	<b>Amostra 3 06/02/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	$1 \times 10^{-2}$	<b>0,4</b>	<b>0,25</b>	0,2
Fenóis totais	<b><math>27 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>28,6 \times 10^{-2}</math></b>	$< 7 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	<b>2,6</b>	<b>2,2</b>	0,23	0,3
Manganês	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>0,44</b>	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de manganês encontrados no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de alumínio, fenóis totais e ferro encontradas no extrato solubilizado apresentaram dois resultados acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos verdes (não queimados) composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan os mesmos são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha, como pelo lodo da ETE/VCP. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). A concentração elevada de Alumínio pode ser consequência da aplicação do Policloreto de Alumínio utilizado na sedimentação do lodo da ETA/Replan. Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desânimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica,

inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### 4.5.3 Resultados das análises de tijolos verdes com argilas Vermelha e Piçarra

Foram enviadas seis amostras de tijolos verdes (não queimados), com duas alturas distintas composto por argilas vermelha e piçarra.

##### a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.12 apresenta os parâmetros acima dos estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Tabela 4.22 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha e piçarra.

Solubilizado (5cmx10cmx21cm)				
Parâmetros	Amostra 1 6/03/06	Amostra 2 13/03/06	Amostra 3 13/03/06	Limite Máximo mg/L) NBR 10004:2004
Alumínio	$8 \times 10^{-2}$	<b>0,2</b>	<b>0,79</b>	0,2
Bário	0,12	0,29	<b>1</b>	0,7
Fenóis totais	$6 \times 10^{-3}$	<b><math>3 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>1 \times 10^{-2}</math></b>	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	$6 \times 10^{-2}$	0,13	<b>0,53</b>	0,3
Manganês	<b>0,71</b>	<b>1,5</b>	<b>3,6</b>	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de manganês encontrados no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de alumínio, bário, fenóis totais e ferro encontradas no extrato solubilizado

apresentaram um resultado acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004.

Considerando os resultados das análises os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Os valores elevados de metais encontrados em algumas amostras são ocasionados por ações naturais características da jazida fornecedora das argilas (ACHON *et al.*, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desânimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### **b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.13 apresenta os parâmetros com valores acima do estabelecido pelo Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.23 - Análises de solubilizado em Tijolos Verdes composto por argilas vermelha e piçarra.**

<b>Solubilizado (8cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 6/03/06</b>	<b>Amostra 2 13/03/06</b>	<b>Amostra 3 13/03/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	$<3 \times 10^{-3}$	<b>0,22</b>	<b>0,3</b>	0,2
Fenóis totais	$4 \times 10^{-3}$	<b><math>2,5 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>1,5 \times 10^{-2}</math></b>	$1 \times 10^{-2}$
Manganês	$1 \times 10^{-2}$	<b>1,8</b>	<b>2,1</b>	0,1
Sulfato	1	<b>399</b>	11	250

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações, de alumínio, fenóis totais e manganês encontrados no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. A concentração de sulfato encontrada no extrato solubilizado apresentou um resultado acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos verdes com argilas vermelha e piçarra os mesmos são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Os valores elevados de metais encontrados em algumas amostras são ocasionados por ações naturais características da jazida fornecedora das argilas (ACHON *ET AL.*, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

## **4.6 Análises de tijolos queimados**

### **4.6.1 Tijolos Queimados com Argilas Vermelha, Piçarra e Lodo da ETE/VCP**

Foram enviadas para análises seis amostras de tijolos queimados, com duas alturas distintas composto por argilas vermelha, piçarra, lodo ETE/VCP.

### a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.14 apresenta os parâmetros com os valores acima do estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.24 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

<b>Solubilizado (5cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 16/01/06</b>	<b>Amostra 2 16/01/06</b>	<b>Amostra 3 16/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	0,71	0,42	1,2	0,2
Fenóis totais	$75 \times 10^{-2}$	$84 \times 10^{-2}$	$82 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	0,35	0,2	0,53	0,3
Nitrato	0,7	24,8	3,8	10

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de alumínio e fenóis totais encontrados no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. A concentração de ferro encontrada no extrato solubilizado apresentou dois resultados acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004. A concentração de nitrato encontrada no extrato solubilizado apresentou um resultado acima (amostra 2) do limite estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades

macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos. Os Nitratos favorecem a eutrofização dos corpos d'água (ACHON *et al.*, 2004).

### b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.15 apresenta os parâmetros com valores acima do estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.25 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

<b>Solubilizado (8cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 16/01/06</b>	<b>Amostra 2 16/01/06</b>	<b>Amostra 3 16/01/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	<b>1,1</b>	<b>0,48</b>	<b>0,99</b>	0,2
Fenóis totais	<b><math>87 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>79 \times 10^{-2}</math></b>	<b><math>89 \times 10^{-2}</math></b>	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	<b>0,34</b>	0,21	<b>0,36</b>	0,3

Fonte: Centro de Qualidade Analítica (2006).

As concentrações de alumínio e fenóis totais encontrados no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de ferro encontradas no extrato solubilizado apresentaram dois resultados acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra e o lodo da ETE/VCP são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desânimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos. Os Nitratos favorecem a eutrofização dos corpos d'água (ACHON *et al.*, 2004).

#### **4.6.2 Tijolos Queimados com Argilas Vermelha e Piçarra, Lodo da ETE/VCP e Lodo da ETA/Replan**

Foram enviadas para análises seis amostras de tijolos queimados, com duas alturas distintas composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.

##### **a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10.004/2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.16 apresenta os parâmetros com valores acima dos estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.26 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

<b>Solubilizado (5cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 13/02/06</b>	<b>Amostra 2 13/02/06</b>	<b>Amostra 3 13/02/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	<b>1</b>	<b>1,2</b>	2x10 <sup>-2</sup>	0,2
Fenóis totais	<7x10 <sup>-5</sup>	<7x10 <sup>-5</sup>	<b>22,9x10<sup>-2</sup></b>	1x10 <sup>-2</sup>

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de alumínio encontradas no extrato solubilizado apresentaram-se acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004 para duas amostras. As concentrações de Fenóis, totais encontradas no extrato solubilizado apresentou um resultado acima do limite estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha, como pelo lodo da ETE/VCP. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). A concentração elevada de Alumínio pode ser consequência da aplicação do Policloreto de Alumínio utilizado na sedimentação do lodo da ETA/Replan. Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados, como o Alumínio e o Ferro, podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### **b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan não são classificados como classe I – perigosos.

A Tabela 4.17 apresenta os parâmetros com valores acima dos estabelecidos no Anexo G da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.27 - Análises de solubilizado em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

<b>Solubilizado (8cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 13/02/06</b>	<b>Amostra 2 13/02/06</b>	<b>Amostra 3 13/02/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	0,12	<b>0,4</b>	$4 \times 10^{-2}$	0,2
Manganês	<b>0,35</b>	$7 \times 10^{-3}$	<b>0,35</b>	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

Para as concentrações de alumínio encontradas no extrato solubilizado apenas um valor apresentou concentração acima do limite estabelecido no Anexo G da NBR 10004:2004 (amostra 2). As concentrações de manganês encontradas no extrato solubilizado apresentaram dois resultados acima do limite estabelecido no Anexo G da NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004). A concentração elevada de Alumínio pode ser consequência da aplicação do Policloreto de Alumínio utilizado na sedimentação do lodo da ETA/Replan. Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### **4.6.3 Tijolos Queimados com Argilas Vermelha e Piçarra**

Foram enviadas para análises seis amostras de tijolos queimados, com duas alturas distintas composto por argilas vermelha e piçarra.

##### **a) Dimensões (5cm X 10cm X 21cm)**

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra não são classificados como classe I – perigosos (ABNT, 2004).

Na Tabela 4.18 são apresentados os parâmetros acima dos valores estabelecidos pela norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

**Tabela 4.28 - Análises de solubilizado em tijolos queimados composto por argilas vermelha e piçarra.**

<b>Solubilizado (5cmx10cmx21cm)</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Amostra 1 20/03/06</b>	<b>Amostra 2 20/03/06</b>	<b>Amostra 3 20/03/06</b>	<b>Limite Máximo (mg/kg) NBR 10004:2004</b>
Alumínio	<b>0,41</b>	<b>0,88</b>	<b>0,98</b>	0,2
Fenóis totais	<b><math>2 \times 10^{-2}</math></b>	<b>0,59</b>	<b>0,74</b>	$1 \times 10^{-2}$
Ferro	0,18	<b>0,35</b>	<b>0,41</b>	0,3

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de alumínio e fenóis totais encontradas no extrato solubilizado apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de ferro encontradas no extrato solubilizado apresentaram dois resultados acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004 (ABNT, 2004).

Considerando os resultados das análises os tijolos queimados compostos por argilas vermelha e piçarra são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, conforme a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Os valores elevados de metais encontrados em algumas amostras são ocasionados por ações naturais características da jazida fornecedora das argilas (ACHON *ET AL.*, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia e desâmimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

## b) Dimensões (8cm X 10cm X 21cm)

Serão apresentados somente os valores que estão acima do estabelecido pela NBR 10004:2004, pois são os critérios para classificação do grau de periculosidade do resíduo (ABNT, 2004).

Os valores verificados no extrato lixiviado são inferiores aos parâmetros estabelecidos na NBR 10004:2004, sendo assim os tijolos queimados com argilas vermelha e piçarra não são classificados como classe I – perigosos (ABNT, 2004).

Tabela 4.29 - Análises de Solubilizado em tijolos queimados composto por argilas vermelha e piçarra.

Solubilizado (8cmx10cmx21cm)				
Parâmetros	Amostra 1 20/03/06	Amostra 2 20/03/06	Amostra 3 20/03/06	Limite Máximo (mg/kg) NBR 10004:2004
Alumínio	0,52	0,29	0,22	0,2
Cromo total	$6 \times 10^{-2}$	$8 \times 10^{-2}$	$13 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
Fenóis totais	0,6	$2,8 \times 10^{-2}$	1,309	$1 \times 10^{-2}$
Manganês	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$	$11 \times 10^{-2}$	0,1

Fonte: Centro de Qualidade Analítica Laboratórios (2006).

As concentrações de alumínio, fenóis totais e cromo encontradas no extrato solubilizado, Tabela 4.19 apresentaram-se acima dos limites estabelecidos no Anexo G, da NBR 10004:2004 para as três amostras. As concentrações de manganês encontradas no extrato solubilizado apresentaram apenas um resultado acima do limite estabelecido no Anexo G, da NBR 10004:2004 (amostra 3).

Considerando os resultados das análises com tijolos queimados utilizando argilas vermelha e piçarra, os mesmos são classificados como classe II A – não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004:2004 (ABNT, 2004). Os valores elevados de metais encontrados em algumas amostras são ocasionados por ações naturais características da jazida fornecedora das argilas (ACHON *et al.*, 2004). Verifica-se uma concentração elevada de fenóis na composição que pode ser ocasionado tanto pelas argilas, Piçarra e Vermelha. Concentrações elevadas de Fenóis dificultam a degradação biológica do material, pois apresentam características antimicrobianas e fitotóxicas (SANTOS, 2011). Segundo Achon *et al.* (2004), concentrações elevadas de metais pesados podem ocasionar: variação nas comunidades macrobentônicas em estrutura, distribuição, abundância e diversidade. Apatia

e desânimo generalizado de peixes, destruição da camada bentônica, inibição dos movimentos de pupas, deficiências renais e problemas cardiovasculares em seres humanos (ACHON *et al.*, 2004).

#### 4.7 Resultados dos Testes de Toxicidade Aguda

O teste de toxicidade aguda com a bactéria *luminescente Vibrio Ficheri* tem como finalidade avaliar o efeito tóxico de extratos solubilizado dos tijolos queimados, com e sem adição de lodos da ETE/VCP e ETA/Replan. Foram enviadas 18 amostras de tijolos queimados com as seguintes composições:

- Argilas vermelha e piçarra;
- Argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE da VCP;
- Argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE da VCP e lodo da ETA da REPLAN.

Os resultados dos testes de toxicidade aguda com a bactéria *luminescente Vibrio Ficheri*, sistema *microtox*, são apresentados nos Quadros 4.3, 4.4 e 4.5.

**Quadro 4.3 - Análises de toxicidade em tijolos queimados com argila Vermelha e Piçarra .**

Dimensões dos tijolos	Parâmetro	Amostra 1 13/03/06	Amostra 2 13/03/06	Amostra 3 13/03/06
5 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Apresentou efeito tóxico Laudo Bioagri N° 3021/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3025/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3026/2006-0
8 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Não tóxica Laudo Bioagri N°3022/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3023/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3024/2006-0

Fonte: Bioagri (2006).

Como observado no Quadro 4.3, uma amostra (amostra 1) de tijolos queimados compostos por argila Vermelha e Piçarra apresentou teor tóxico.

**Quadro 4.4 - Análises de toxicidade em tijolos queimados com lodo da ETE/VCP.**

Dimensões dos tijolos	Parâmetro	Amostra 1 16/01/06	Amostra 2 16/01/06	Amostra 3 16/01/06
5 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Não tóxica Laudo Bioagri N°3009/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3011/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3013/2006-0
8 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Não tóxica Laudo Bioagri N°3010/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3012/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3014/2006-0

Fonte: Bioagri (2006).

Conforme observado no Quadro 4.4, nenhuma amostra de tijolos queimados com adição do lodo da ETE/VCP não apresentou teor tóxico.

**Quadro 4.5 - Análises de toxicidade em tijolos queimados com lodos da ETE/VCP e ETA/Replan.**

Dimensões dos tijolos	Parâmetro	Amostra 1 13/02/06	Amostra 2 13/02/06	Amostra 3 13/02/06
5 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Não tóxica Laudo Bioagri N°3015/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3019/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3020/2006-0
8 x 10 x 21 cm	Toxicidade por <i>Vibrio fischeri</i>	Não tóxica Laudo Bioagri N°3016/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3017/2006-0	Não tóxica Laudo Bioagri N°3018/2006-0

Fonte: Bioagri (2006).

Conforme observado no Quadro 4.5, nenhuma amostra de tijolos queimados com adição dos lodos da ETE/VCP e ETA/Replan não apresentou teor de toxicidade.

#### **4.8 Ensaios Tecnológicos com Tijolos Queimados**

Os ensaios tecnológicos com tijolos queimados foram realizados pelo Laboratório de Materiais e Partículas Sólidas da Universidade de São Paulo.

##### **4.8.1 Tijolos Queimados preparados com argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP**

Foram enviadas vinte e seis amostras de tijolos queimados para ensaios tecnológicos composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.

### a) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Baseado na NBR 8492:1984

Todos os tijolos ensaiados para Determinação das Dimensões passaram pelas tolerâncias máximas de fabricação que devem ser de 3 mm para mais ou para menos, nas três dimensões (comprimento, largura e altura). A Tabela 4.20 apresenta os valores das dimensões de tijolos queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.

**Tabela 4.30 - Dimensões de tijolos queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

Bloco	Dimensões (mm)								
	C01	C02	Média	L01	L02	Média	H01	H02	Média
1	211,15	211,77	211,46	99,65	100,4	100,03	77,6	78,99	78,30
2	211,82	212,57	212,195	100,26	99,36	99,81	79,78	78,49	79,14
3	211,8	210,6	211,2	98,62	99,21	98,92	79,31	78,65	78,98
4	213,35	213,39	213,37	100,28	99,37	99,83	77,15	75,86	76,51
5	214,38	214,8	214,59	101,25	100,46	100,86	75,55	75,13	75,34
6	212,31	213,21	212,76	99,54	98,73	99,14	78,21	77,21	77,71
7	210,28	210,69	210,485	99,29	98,06	98,68	76,58	77,36	76,97
8	211,3	210,29	210,795	98,19	99,6	98,90	76,75	77,23	76,99
9	210,4	210,35	210,375	98,36	98,47	98,42	78,44	79,68	79,06
0	211,72	212,12	211,92	99,68	98,7	99,19	78,7	80,03	79,37
11	212,98	213,44	213,21	98,86	99,67	99,27	76,86	78,68	77,77
12	209,17	209,66	209,415	98,28	98,3	98,29	78,77	77,88	78,33
13	211,5	211,87	211,685	99,01	97,86	98,44	77,63	76,48	77,06
<b>Média</b>	<b>211,70</b>	<b>211,90</b>	<b>211,80</b>	<b>99,33</b>	<b>99,09</b>	<b>99,21</b>	<b>77,79</b>	<b>77,82</b>	<b>77,81</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

### b) Determinação da Absorção de Água - Baseado na NBR 8492:1984

Conforme a norma, a absorção de água desejada não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. Os resultados dos valores de absorção de água para tijolos queimados, composto por argilas vermelha, piçarra e ETE/VCP são apresentados na Tabela 4.21.

**Tabela 4.31 - Absorção de água em tijolos queimados compostos por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

Bloco N°	Massa Seca (g)	Umidade no recebimento (%)	Absorção de água (%)
1	2283	3,6	21,5
2	2311	2,3	20,1
3	2163	1,1	19,2
4	2286	1	19,7
5	2335	3,5	21,9
6	2302	0,7	18,6
<b>Média</b>	<b>2280</b>	<b>2,0</b>	<b>20,2</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

Conforme observado, nenhuma amostra apresentou valor de absorção de água acima do estabelecido pela norma NBR 8491.

Conforme Paiva (2007), a porcentagem de absorção de água em compósito de cimento com adição de lodo da ETE/VCP apresentou uma média de 18%.

#### **c) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Verificação da Resistência à Compressão Baseado na NBR 8492:1984**

A amostra ensaiada não deve apresentar média dos valores de resistência à compressão inferior a 2,0 Mpa (20 Kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17 Kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias. Os resultados das 13 amostras enviadas testes de resistência a compressão são apresentados na Tabela 4.22.

**Tabela 4.32 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra e lodo da ETE/VCP.**

Bloco	Resistência a compressão	
	Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>
14	15	150
15	13,6	135,6
16	13	130,3
17	12	120,4
18	10,2	101,7
19	10,6	106,2
20	13,5	134,9
21	11,9	119,1
22	7	70,4
23	10,5	104,9
24	11,7	117,3
25	11,1	111,1
26	8,6	86,2
<b>Média</b>	<b>11,4</b>	<b>114,5</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

#### **4.8.2 Tijolos Queimados preparados com argilas vermelha e piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan**

##### **a) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Baseado na NBR 8492:1984**

Todos os tijolos ensaiados para Determinação das Dimensões passaram pelas tolerâncias máximas de fabricação que devem ser de 3 mm para mais ou para menos, nas três dimensões (comprimento, largura e altura). A Tabela 4.23 apresenta os valores de dimensões encontradas nas amostras composta por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.

**Tabela 4.33 - Dimensões de Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo de ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

Bloco N°	Dimensões (mm)								
	C01	C02	Média	L01	L02	Média	H01	H02	Média
1	212,5	212,9	212,7	100,55	94,4	97,48	76,37	76,42	76,40
2	210,28	208,87	209,575	98,22	98,44	98,33	76,51	77,47	76,99
3	210,86	209,61	210,235	98,38	98,12	98,25	74,06	74,53	74,30
4	210,3	210,53	210,415	99,37	98,38	98,88	76,11	76,67	76,39
5	212,58	211,53	212,055	98,56	100,39	99,48	74,65	74,45	74,55
6	212,2	212,44	212,32	100,36	98,95	99,66	78,05	77,23	77,64
7	212,06	211,83	211,945	100,36	99,57	99,97	73,92	74,1	74,01
8	210,72	210,23	210,475	99,17	98,75	98,96	77,63	77,91	77,77
9	210,79	210,72	210,755	99,15	99,08	99,12	75,67	76,27	75,97
10	209,34	208,32	208,83	98,05	98,47	98,26	75,97	76,04	76,01
11	211,43	210,78	211,105	99,67	98,86	99,27	73,9	74,72	74,31
12	213,94	211,5	212,72	99,21	100,15	99,68	77,65	77,04	77,35
13	209,54	211,53	210,535	98,39	98,67	98,53	75,27	75,79	75,53
<b>Média</b>	<b>211,27</b>	<b>210,83</b>	<b>211,05</b>	<b>99,19</b>	<b>98,63</b>	<b>98,91</b>	<b>75,83</b>	<b>76,05</b>	<b>75,94</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006)

#### **b) Determinação da Absorção de Água - Baseado na NBR 8492:1984**

Conforme a norma NBR 8492:1984, a absorção de água desejada não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%. A Tabela 4.24 apresenta os valores de absorção de água para as amostras composta por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e ETA/Replan.

**Tabela 4.34 - Absorção de água em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e lodo da ETA/Replan.**

Bloco N°	Massa Seca (g)	Umidade no recebimento (%)	Absorção de água (%)
1	2267	0,5	20,0
2	2251	0,4	21,1
3	2237	0,4	21,5
4	2223	0,9	21,6
5	2268	0,8	20,5
6	2387	0,5	19,5
<b>Média</b>	<b>2272</b>	<b>0,6</b>	<b>20,7</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

### c) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Verificação da Resistência à Compressão Baseado na NBR 8492:1984

A amostra ensaiada não deve apresentar média dos valores de resistência à compressão inferior a 2,0 Mpa (20 Kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17 Kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias. A Tabela 4.25 apresenta os valores encontrados em tijolos queimados, composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e ETA/Replan.

Tabela 4.35 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha, piçarra, lodo da ETE/VCP e ETA/Replan.

Bloco	Resistência a compressão	
	Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>
14	12,8	128,5
15	11,6	116,4
16	11,7	116,6
17	15,4	153,9
18	12,7	126,6
19	13,5	135,2
20	9,6	96,2
21	14,5	144,6
22	11,1	110,5
23	12	119,9
24	10,6	106,5
25	13	130,1
26	12,4	124,4
<b>Média</b>	<b>12,4</b>	<b>123,8</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

### 4.8.3 Tijolos Queimados preparados com Argilas Vermelha e Piçarra

#### a) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Baseado na NBR 8492:1984

Todos os tijolos ensaiados para Determinação das Dimensões passaram pelas tolerâncias máximas de fabricação, que devem ser de 3 mm para mais ou para menos, nas três dimensões (comprimento, largura e altura). A Tabela 4.26 apresenta os valores das dimensões de tijolos queimados, composto por argilas vermelha e piçarra.

**Tabela 4.36 - Dimensões dos tijolos composto por argilas vermelha e piçarra.**

Bloco N°	Dimensões (mm)								
	C01	C02	Média	L01	L02	Média	H01	H02	Média
1	213,66	212,85	213,255	99,88	100,9	100,39	80,12	78,56	79,34
2	213,15	213,42	213,285	99,5	99,68	99,59	78,12	78,5	78,31
3	214,07	214,68	214,375	99,93	99,92	99,93	74,3	73,76	74,03
4	213,83	214,26	214,045	100,01	100,72	100,37	75,02	74,6	74,81
5	214,59	214,86	214,725	100,66	100,1	100,38	79,33	81,48	80,41
6	212,7	213,51	213,105	99,36	100,77	100,07	77,33	78,07	77,70
7	215,2	214,33	214,765	100,15	101,08	100,62	79,56	78,1	78,83
8	215,24	214,65	214,945	99,4	100,46	99,93	78,53	77,21	77,87
9	215,19	215,71	215,45	100,13	101,06	100,60	74,88	74,6	74,74
10	214,02	215,49	214,755	100,85	100,91	100,88	81,53	80,55	81,04
11	215,22	214,51	214,865	99,9	100,87	100,39	74,22	73,84	74,03
12	213,18	213,32	213,25	100,86	99,9	100,38	77,36	79,35	78,36
13	214,63	215,77	215,2	101,08	100,46	100,77	80,3	77,19	78,75
<b>Média</b>	<b>214,21</b>	<b>214,41</b>	<b>214,31</b>	<b>100,13</b>	<b>100,53</b>	<b>100,33</b>	<b>77,74</b>	<b>77,37</b>	<b>77,55</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

**b) Determinação da Absorção de Água - Baseado na NBR 8492:1984**

Conforme a norma NBR 8492:1984, o valor de absorção de água não pode ser inferior a 8% e nem superior a 22%. A Tabela 4.27 apresenta os valores encontrados para amostras composta por argilas vermelha e piçarra.

**Tabela 4.37 - Absorção de água em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha e piçarra.**

Bloco N°	Massa Seca (g)	Umidade no recebimento (%)	Absorção de água (%)
1	2403	1,1	20,4
2	2345	0,8	20,7
3	2239	0,7	20,7
4	2282	0,8	20,3
5	2447	0,9	20,7
6	2322	0,9	21,4
<b>Média</b>	<b>2340</b>	<b>0,9</b>	<b>20,7</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

### c) Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria - Verificação da Resistência à Compressão Baseado na NBR 8492:1984

A amostra ensaiada não deve apresentar média dos valores de resistência à compressão inferior a 2,0 Mpa (20 Kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual inferior a 1,7 Mpa (17 Kgf/cm<sup>2</sup>) com idade mínima de sete dias. A Tabela 4.28 apresenta os valores encontrados para amostras compostas por argilas vermelha e piçarra.

**Tabela 4.38 - Resistência à compressão em Tijolos Queimados composto por argilas vermelha e piçarra.**

Bloco	Resistência à compressão	
	Mpa	Kgf/cm <sup>2</sup>
14	8,7	86,9
15	8,5	85,4
16	10,5	105,2
17	8,6	86,2
18	8,9	88,7
19	9,6	95,6
20	11,8	118,5
21	8,8	88,1
22	11,9	118,9
23	8,4	84,4
24	10,1	101,3
25	12,1	121,2
26	8,6	85,8
<b>Média</b>	<b>9,7</b>	<b>97,4</b>

Fonte: LMPSol – USP (2006).

Os resultados dos ensaios tecnológicos realizados pelo LMPSol-USP, apresentados anteriormente, nota-se um aumento significativo da resistência dos tijolos queimados quando da incorporação do lodo da ETA/Replan. A melhoria da resistência ocasionou uma redução do índice de quebra de tijolos de 10% para 1% da produção total.

#### 4.9 Resultados das análises dos Efluentes gasosos

Não foram encontrados nenhum parâmetro em desacordo coma as normas estabelecidas.

## 5 Conclusões e Sugestões

Os resultados analíticos das amostras coletadas para os ensaios com os tijolos cerâmicos verdes, tijolos cerâmicos queimados e de resíduos, foram sempre realizadas em triplicatas.

Para todas as matérias primas utilizadas nesse estudo, as concentrações no extrato lixiviado foram sempre inferiores aos parâmetros estabelecidos na norma NBR 10004:2004, portanto, todos os materiais testados nesse processo, a saber: as matérias primas argila vermelha e argila piçarra, o lodo da ETE/VCP e o lodo da ETA/Replan não podem ser classificados como resíduos perigosos - classe I e foram todos classificados como - classe II A – não inerte, possibilitando o seu reaproveitamento.

Os ensaios tecnológicos de resistência mecânica mostraram que a incorporação do Lodo da ETA/Replan em 20% na massa de argila da Olaria Schiavolin proporciona um aumento na resistência à compressão dos tijolos queimados passando essa resistência de 9,7 para 12,4 MPa ou de 97,4 para 123,8 kgf/cm<sup>2</sup>, ou seja, um aumento de 27% na resistência desses tijolos. Essa melhoria na resistência dos tijolos queimados proporcionou também uma redução de quebras no processo de fabricação desses tijolos passando de 10% para 1% de toda a produção da Olaria.

A incorporação dos resíduos lodo da ETE/VCP e lodo ETA/Replan em massa argilosa, para a fabricação de tijolos, mostrou-se uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e tecnológico. Evita a exploração demasiada das jazidas de argila, aumentando o tempo de vida destas. Diminui a busca por novas fontes de argila evitando, deste modo, os impactos ambientais ao solo e vegetação. Esta prática está inserida no conceito de Economia Circular, pois o resíduo gerado tanto no tratamento da água, como do esgoto industrial, é utilizado como matéria prima para a produção de um bem durável com valor agregado superior.

Este estudo buscou avaliar a possibilidade de aproveitamento dos resíduos lodo de ETE/VCP e lodo da ETA/Replan em massa argilosa à fabricação de produtos cerâmicos. Apesar de haver outros trabalhos semelhante, é necessário a realização de novos estudos buscando avaliar o comportamento destes resíduos em outros produtos cerâmicos. Pesquisas mais aprofundadas, podem favorecer à aplicação destes resíduos, que é um problema quanto ao descarte, em matérias primas viáveis tecnologicamente e ambientalmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PAIVA, S.N. *Compósito cimento-lodo de E.T.E de indústria de papel para aplicação na construção civil*. Dissertação de mestrado – ESALQ-USP, Piracicaba, 2007. Disponível em < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12062007-105628/pt-br.php> > acesso em 16 de abril de 2020.
2. VON SPERLING, M.; Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – 2 ed. Belo Horizontes: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.
3. MARGEM, I. J. *Carecterização e incorporação de lodo de decantação de E.T.A. em cerâmica vermelha*. Dissertação de mestrado – CCT-UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, 2008. Disponível em [https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR\\_doc.pdf](https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR_doc.pdf) acesso 12/11/2020 – às 04:00h.
4. Pradanov, C. C.; Freitas, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico – 2ª edição – Feevale – Novo Hamburgo, 2013.
5. RICHTER, C.A. Tratamento de lodo de estação de tratamento de água. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 2001.
6. LARA, A.I; FERREIRA, A.C; ANDREOLI, C.V; PEGORINI, E.S; ILHENFELD, R.G.K. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Companhia de Saneamento Básico do Paraná – SANEPAR – Curitiba, 1999. Disponível em < [https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/uso\\_manejo\\_lodo\\_agricultura.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf) > acesso em 14 de julho de 2020.
7. TEIXEIRA, B.A.N.; Tratamento de águas de abastecimento – Curso de Engenharia Ambiental- UFSCar – 2012.
8. PINHEIRO, B.C.A.; ESTEVÃO, G.M.; SOUZA, D.P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha. Parte I: caracterização do lodo. *Revista Matéria*. v. 19, n. 03, 2014. Disponível em < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762014000300204](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762014000300204) > acesso em 16 de abril 2020.

9. SOUZA, T.M.T; ALMEIDA, A.F.; Caracterização físico-química do resíduo (lodo), em período de seca, em Várzea Grande – MT. *E&S – Engineering and Science*. v. 01, edição 06, 2017. Disponível em < <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/4754> > acesso em 16 de abril 2020.
10. SANTOS, A.A.A.O.; Caracterização do Efluente da indústria sucroalcooleira: conteúdo de fenóis totais. Anais do ENIC – UEMS - nº 3 – 2011. Disponível em < <https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/1444> acesso em 28 de janeiro de 2021.
11. BOLZANI, H.R. O feito da manutenção e das condições operacionais no desempenho de estações de tratamento de esgotos. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Maringá – Maringá, 2010.
12. FAJARDO, P.A. Propostas de instrumentos para realização de Análise Ambiental Inicial em ETEs à luz da NBR ISO 14001:2004: O caso da ETE A, Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos – São Carlos – SP, 2014.
13. FERNANDES, F.; LOPES, D.D.; ANDREOLI, C.V.; SILVA, S.M.C.P.; Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES F. (Ed.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 1. Ed. 4. impressão. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.
14. LARA, A.I.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES F. (Ed.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. 1. Ed. 4. impressão. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.
15. LINS, G.A. Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
16. PIMPÃO, H. Avaliação dos impactos da estação de tratamento de esgoto do bairro CPA III – lagoa encantada em Cuiabá – MT utilizando indicadores ambientais. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá – MT, 2011.
17. SALVADOR, N.N.B. Impactos ambientais de Estações de Tratamentos de esgotos urbanos. UFSCar/Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, 2017. Notas de aula.
18. FAJARDO, P.A.; Monitoramento de impactos ambientais pós-implantação de estações de esgotos sanitários. Tese de Doutorado – UFSCAR, São Carlos, 2019.
19. SOARES, L.V.; ACHON, C.L.; MEGDA, C.R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. ITCR -2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Costão do Saltinho – Florianópolis – SC, 2004. Disponível em:

<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/08/08-020.pdf>  
acesso em 17 de junho de 2020.

20. BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S.H.W. Caracterização e avaliação de lodo de efluentes sanitários e industriais como biomassa na geração de energia. *Revista Ciência e Engenharia*. v. 17, edição 27, 2008. Disponível em < <http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/730> > acesso em 16 de abril de 2020.
21. Relatórios da Estação de Tratamento de Água – ETA/REPLAN – 2006.
22. Conselho Nacional Do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, 13 de maio de 2011. Dispoe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em 16 de abril de 2020.
23. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 10004:2004 – Classificação de resíduos sólidos – Publicada em 31 de maio de 2004. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=936>> Acesso em 16 de abril de 2020.
24. OJI – Papéis Especiais – Disponível em: <http://ojipapeis.com.br/institucional/sustentabilidade> acesso em 17 de junho de 2020.





