

## Artigo

## Utilização de Resíduo Sólido de Estação de Tratamento de Água (lodo), como Matéria Prima para Confecção de Elementos da Construção Civil

Santos, S. S. A.; Campos, V. P.\*

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (2), 273-287. Data de publicação na Web: 17 de abril de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

### Use of Water Treatment Plant Solid Residues (Sludge) as Raw Material to Manufacture Construction Elements

**Abstract:** To transform rude water into drinking water, treatment plants can use conventional treatment process, which forms residues called sludge. The final disposition of the generated sludge constitutes, nowadays, one of the main environmental passives of the sanitation sector. The residue generated in the Water Treatment Plant- Vieira of Mello (WTP-VM), in Salvador - Bahia, Brazil, was characterized in this work, aiming to be used in manufacture of construction elements, in proper proportion, without risking the users or the environment. Hollow blocks composed of cement, sand, water and dry sludge, were submitted to resistance by the compression tests, as well as the humidity absorption and leaching tests. The following results were found: fbk = 7.8 Mpa; 11.9 % of humidity absorption and trace elements concentration: < 0.035 mg L<sup>-1</sup> As, < 0.020 mg L<sup>-1</sup> Cd, < 0.20 mg L<sup>-1</sup> Pb, < 0.070 mg L<sup>-1</sup> Cr, < 1.2 mg L<sup>-1</sup> Al, < 0.020 mg L<sup>-1</sup> Be, < 0.30 mg L<sup>-1</sup> V. These results, according to Brazilian norms, proved the suitability of the sludge for this use. The identified technology for the final destination of the residue generated in the WTP-VM is economical and environmentally suitable, and it can be extended to other Water Treatment Plants.

**Keywords:** Sludge of Waste water treatment; Solid residue; Construction element.

### Resumo

Para transformar água bruta em água potável, estações de tratamento podem utilizar o processo convencional de tratamento, o qual forma resíduos, chamados de lodo. A disposição final do lodo gerado constitui, atualmente, um dos principais passivos ambientais do setor de saneamento. O resíduo gerado na Estação de Tratamento de água Vieira de Mello (ETA-VM), em Salvador – Bahia, Brasil, foi caracterizado neste trabalho, com o objetivo de usá-lo na fabricação de materiais de construção, em proporção adequada, sem riscos aos usuários e ao ambiente. Blocos construídos de cimento, areia, água e lodo seco foram submetidos a testes de resistência à compressão, absorção de umidade e lixiviação. Os seguintes resultados foram encontrados: fbk = 7,8 Mpa; 11,9 % de absorção de umidade e as seguintes concentrações de elementos traço: < 0,035 mg L<sup>-1</sup> As, < 0,020 mg L<sup>-1</sup> Cd, < 0,20 mg L<sup>-1</sup> Pb, < 0,070 mg L<sup>-1</sup> Cr, < 1,2 mg L<sup>-1</sup> Al, < 0,020 mg L<sup>-1</sup> Be < 0,30 mg L<sup>-1</sup> V. Os resultados, segundo normas brasileiras, comprovaram a adequação do lodo para aquele uso. A tecnologia identificada para a destinação final do resíduo gerado na ETA-VM é econômica e ambientalmente adequada e pode ser estendida para outras Estações de Tratamento de Água.

**Palavras-chave:** Lodo de Estação de tratamento de água; Resíduo sólido; Elementos da Construção civil.

\* Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química – Dpt<sup>o</sup> de Química Analítica, Campus Universitário de Ondina, CEP 40170-290, Salvador-BA, Brasil.

✉ [yaniaroc@ufba.br](mailto:yaniaroc@ufba.br); [vpalmeiracampos@gmail.com](mailto:vpalmeiracampos@gmail.com)

DOI: [10.21577/1984-6835.20180021](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180021)

# Utilização de Resíduo Sólido de Estação de Tratamento de Água (lodo), como Matéria Prima para Confeção de Elementos da Construção Civil

Selma S. A. Santos, Vânia P. Campos\*

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Química – Dpt<sup>o</sup> de Química Analítica, Campus Universitário de Ondina, CEP 40170-290, Salvador-BA, Brasil.

\* [vaniaroc@ufba.br](mailto:vaniaroc@ufba.br); [vpalmeiracampos@gmail.com](mailto:vpalmeiracampos@gmail.com)

*Recebido em 14 de abril de 2017. Aceito para publicação em 12 de abril de 2018*

## 1. Introdução

## 2. Materiais e métodos

**2.1.** Metodologia geral do trabalho

**2.2.** Análises físicas, químicas e biológicas dos efluentes da lavagem dos filtros e decantadores na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

**2.3.** Testes e análises realizados no lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM) e nos blocos produzidos

## 3. Resultados e discussão

**3.1.** Caracterização dos efluentes da lavagem dos filtros e decantadores da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

**3.2.** Caracterização do lodo amostrado na zona morta da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

**3.3.** Teste de lixiviação do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

**3.4.** Composição e características do material usado para confecção dos blocos

## 4. Conclusões

### 1. Introdução

A estação de tratamento de água (ETA) Vieira de Mello (VM), uma das ETAs da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) está localizada em Salvador na Bahia, Brasil e tem capacidade para tratar  $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de água. Para transformar a água bruta

em água potável, a ETA-VM utiliza o processo convencional de tratamento, gerando resíduos sólidos a serem removidos nas etapas de decantação e filtração. Resíduos sólidos estão definidos na Lei Federal 12.305/2010, que dispõe sobre a política nacional de resíduos sólidos como “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede,

se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.<sup>1</sup> Os resíduos denominados de lodo, foram incluídos na definição de resíduos sólidos, pela Norma Brasileira NBR 10004 de 2004.<sup>2</sup> O destino do lodo das ETAs no Brasil, em muitos casos tem sido o meio ambiente, prática proibida por órgãos ambientais, mas ainda muito comum no país, apesar das leis brasileiras, que visam o controle de emissões de poluentes no meio ambiente, proibindo o lançamento de efluentes em níveis nocivos ou perigosos para os seres humanos e outras formas de vida.<sup>3</sup>

Segundo Grandin, *et al.* (1993),<sup>4</sup> o lodo de estações de tratamento de água é constituído por resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, coloides, areia, argila, silte, cálcio, magnésio, ferro, manganês e outros elementos traço. A disposição no ambiente ou o uso desse lodo como matéria prima de algum produto requer monitoramento para avaliar a transferência de elementos traço para o ambiente.

O destino de lodos de estações de tratamento de água e esgoto varia: disposição em aterro sanitário e uso em substratos e adubos orgânicos preparados por compostagem com restos de vegetais, resíduos sólidos domésticos, biossólidos, etc.;<sup>5</sup> lançamento em rede coletora de esgoto ou diretamente nas estações de tratamento de esgotos;<sup>6</sup> disposição controlada em certos tipos de solos;<sup>7-8</sup> uso em fabricação de materiais de construção misturado com argila,<sup>9 - 12</sup> ou com outros resíduos como restos de construção, visando por exemplo fabricação de materiais do tipo solo-cimento e lajotas para pisos.<sup>8, 13-14</sup>

O potencial tóxico do lodo de ETAs depende principalmente da concentração de

elementos tóxicos, além das características físico-químicas e das condições em que estes resíduos são dispostos.<sup>15</sup> Outros fatores que também influenciam a toxicidade do lodo são as reações sofridas durante o processo de tratamento, forma e tempo de retenção dos contaminantes no lodo, características da água que é tratada na estação, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos utilizados no tratamento da água.<sup>16</sup>

Este trabalho teve como objetivo investigar a composição do lodo gerado na ETA-VM e a viabilidade para a sua destinação como insumo na confecção de blocos a serem usados na construção civil e contribuir desta forma na redução da contaminação e assoreamento do ecossistema, onde era dispensado. É importante ressaltar que, este material, considerado insumo, termo definido como "produtos químicos ou produtos industriais utilizados como matéria básica em qualquer etapa de um processo de fabricação de outros produtos",<sup>17</sup> para ser usado com outras finalidades, precisa passar por testes exigidos por normas técnicas específicas, as quais limitam a quantidade do mesmo a ser usada no material final de interesse, de modo que seu uso não cause riscos à saúde humana ou impactos ambientais adversos.

## 2. Materiais e métodos

A EMBASA - Empresa Baiana de Águas e Saneamento possui duas estações de Tratamento na cidade de Salvador, Bahia, com igual capacidade de tratamento (2,5 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de água), sendo uma delas a Estação Vieira de Mello, que se encontra em operação desde março de 1964, utilizando o tratamento convencional de água: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Os produtos químicos usados na ETA-VM para o tratamento da água, no período deste trabalho, estavam nas seguintes faixas de concentração: sulfato férrico: 60 a 80 mg L<sup>-1</sup>; ácido fluorsilícico: 0,98 a 1,4 mg L<sup>-1</sup>; cloro

(pré-cloração): 2,2 a 2,7 mg L<sup>-1</sup>; Cloro (pós-cloração): 4,5 a 6,6 mg L<sup>-1</sup> e cal hidratada, Ca(OH)<sub>2</sub>: 35 mg L<sup>-1</sup>. A vazão de água bruta era cerca de 2,0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. A qualidade da água bruta que chega à ETA vem piorando cada vez mais e exigindo uma quantidade crescente de produtos químicos para o tratamento, aumentando de forma significativa a geração de lodo.

## 2.1. Metodologia geral do trabalho

O fluxograma apresentado na Figura 1 representa a metodologia geral deste trabalho desde a amostragem dos efluentes em filtros, decantadores e zona morta, que é onde fica sedimentado o lodo sem retornar ao processo quando a água recircula, até os testes realizados com o lodo e blocos segundo a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT).

Existem diferentes metodologias para calcular a quantidade de lodo gerado em uma ETA. Por exemplo, Pereira *et al.*, 2012,<sup>18</sup> apresentaram uma equação multiparamétrica representando as variações da qualidade da água e a adição de produtos químicos para o seu tratamento, levando à estimativa diária de produção de sólido sem uma ETA. Neste trabalho, a quantidade de lodo produzido na ETA-VM foi calculada usando-se o método empírico apresentado por Di Bernardo & Dantas, 2005,<sup>7</sup> o qual utiliza dados de análises do lodo gerado nos decantadores e filtros.

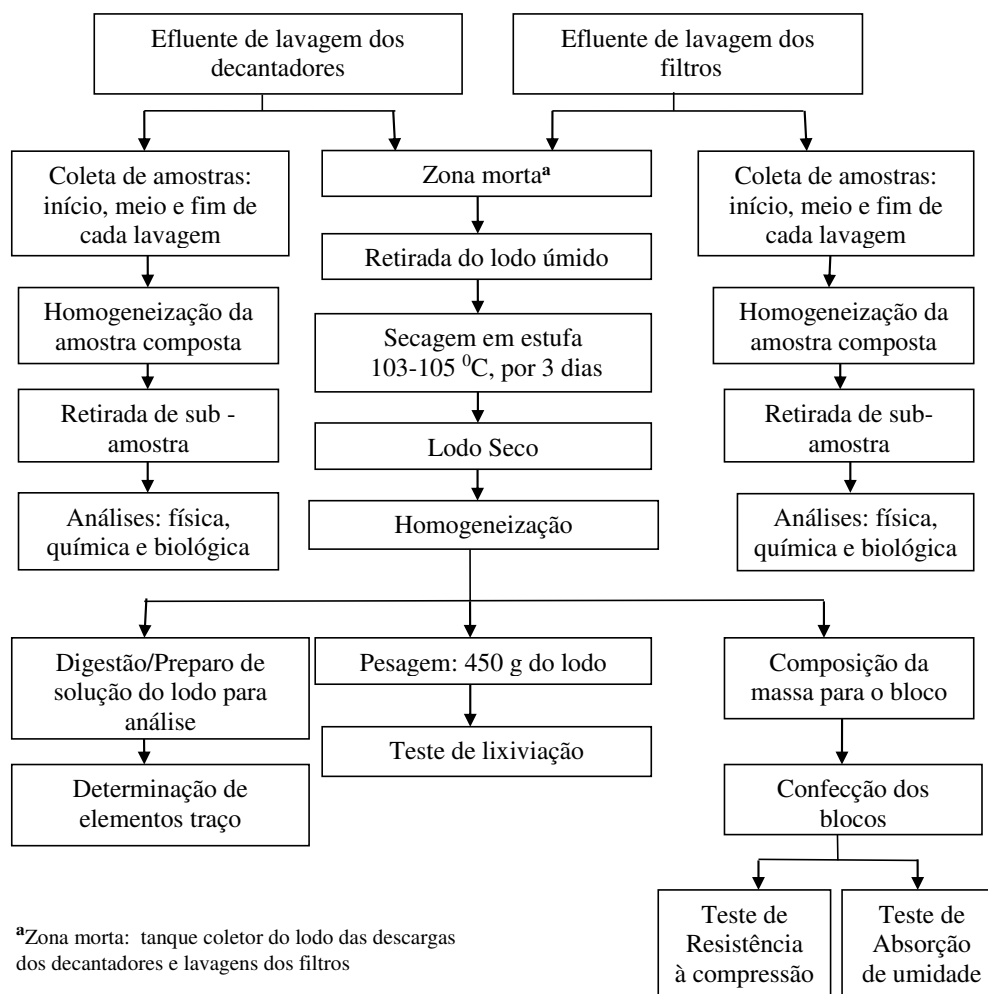
A ETA-VM é composta de quatro decantadores e dez filtros. Neste estudo eram realizadas coletas de amostras dos efluentes contendo o lodo gerado conforme a ocorrência da descarga dos decantadores e da lavagem dos filtros. Estes efluentes são reunidos na zona morta, onde o lodo é finalmente acumulado. A zona morta é um tanque coletor dos efluentes das descargas

dos decantadores e da lavagem dos filtros, que se encontra entre essas duas etapas do tratamento. Como a etapa da decantação sucede a da floculação, os decantadores retêm a maior parte das impurezas contidas na água. As coletas dos referidos efluentes eram realizadas em três momentos: no início, meio e fim de cada lavagem dos decantadores e filtros, separadamente. O lodo úmido acumulado na zona morta, só era coletado posteriormente, quando a parte líquida que estava junto com ele era descartada. A coleta era feita em diferentes pontos da zona morta, sendo então o lodo coletado seco, homogêneo e pesado para a determinação de elementos traço, testes de lixiviação, resistência à compressão e absorção de umidade e confecção dos blocos, segundo normas brasileiras específicas.

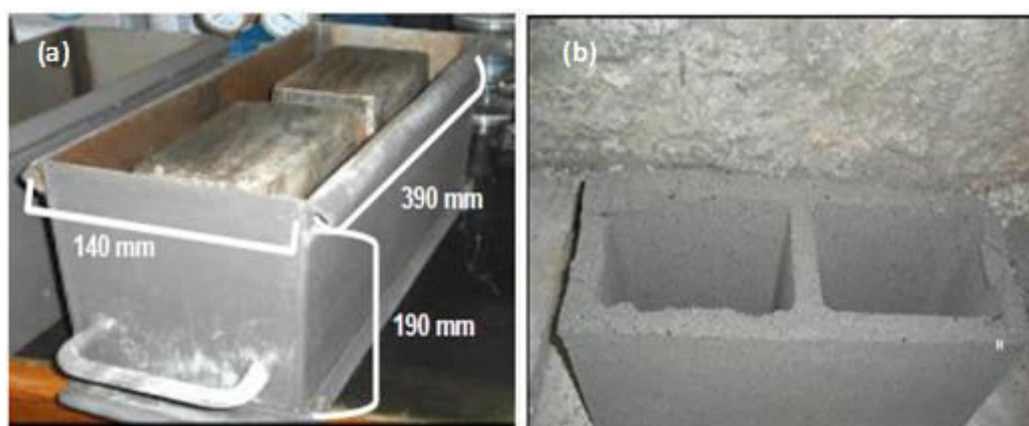
O componente traço usado para a construção dos blocos-teste era composto de cimento, cal, areia, água e lodo, baseado em normas brasileiras.<sup>19</sup> O traço dos primeiros blocos foi escolhido empiricamente e uma variação na sua composição foi feita para verificar se o aumento da quantidade de lodo interferia positiva ou negativamente na resistência do bloco.

Em uma segunda etapa do trabalho, a massa do bloco foi preparada sem adição de cal (hidróxido de cálcio) uma vez que o teste de resistência à compressão do bloco não tinha sido satisfatório na primeira etapa. O interesse em usar este componente, visava aproveitar a parte deste produto que permanece insolubilizada no tanque de preparo de sua solução para o tratamento da água na ETA, o que poderia fornecer mais consistência ao bloco em teste.

Os blocos foram confeccionados em formas de aço carbono com base nas normas NBR 6136 e NBR 12118, respectivamente.<sup>20 -</sup><sup>21</sup> A Figura 2 apresenta modelo e dimensões do bloco moldado para o estudo.



**Figura 1.** Fluxograma do procedimento para obtenção e caracterização do produto final proposto



**Figura 2.** Modelo e dimensões da forma usada para preparo do bloco (a); bloco pronto (b)

## 2.2. Análises físicas, químicas e biológicas dos efluentes da lavagem dos filtros e decantadores na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

As amostras dos efluentes de lavagem dos filtros e decantadores foram analisadas segundo os procedimentos operacionais padrões baseados no Standard Methods for the examination of Water & Wastewater<sup>22</sup> para os seguintes parâmetros: Coliformes Totais, *Escherichia coli*, sólidos sedimentáveis, pH, turbidez, alcalinidade, COD, condutividade, dureza, cloreto, assim como os elementos traço: Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni e Zn. Para estes elementos traço, o Limite de Quantificação (L Q) eram: < 2,0 mg L<sup>-1</sup> Ca, < 10 µg L<sup>-1</sup> Co, < 10 µg L<sup>-1</sup> Cu, < 10 µg L<sup>-1</sup> Fe, < 2,8 mg L<sup>-1</sup> Mg, < 5,0 µg L<sup>-1</sup> Mn, < 10 µg L<sup>-1</sup> Ni e < 3,0 µg L<sup>-1</sup> Zn.

## 2.3. Testes e análises realizados no lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM) e nos blocos produzidos

### Teste de lixiviação

O objetivo do teste era determinar a capacidade de transferência de substâncias presentes no resíduo sólido, por dissolução, para o ambiente.<sup>23</sup> Embora todos os outros testes sejam importantes para verificar o desempenho do elemento de construção a ser produzido com o material, o teste de lixiviação é o mais ambientalmente importante porque responde ao risco para as pessoas e o meio ambiente com seu uso. Uma vez que este teste se refere aos níveis de concentração de elementos tóxicos, é essencial determinar estas espécies químicas no material a ser utilizado na produção do elemento de construção e especialmente no próprio elemento de construção, como no caso deste trabalho, a lama e o bloco, respectivamente, bem como na solução lixiviada produzida no teste.

A amostra úmida foi coletada na zona morta da ETA, utilizando metodologia de amostragem determinada pelas normas brasileiras.<sup>24</sup> Em seguida, a amostra foi seca (103-105 °C), adquirindo uma textura semelhante a areia, permitindo que fosse facilmente homogeneizada. Al, As, Be, Cd, Cr, Pb e V foram determinados por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, utilizando equipamento Varian modelo SpectrAA 220. Os limites de quantificação correspondentes foram: 10 µg L<sup>-1</sup> Al, 0,50 µg L<sup>-1</sup> As, 0,020 µg L<sup>-1</sup> Be, 0,020 µg L<sup>-1</sup> Cd, 2,0 µg L<sup>-1</sup> Cr, 0,020 µg L<sup>-1</sup> Pb e 1,0 µg L<sup>-1</sup> V.

### Testes de resistência à compressão e absorção de umidade

As normas brasileiras (ABNT 2007 e 1991) foram seguidas para a realização do teste de absorção de umidade. Para calcular a porcentagem de absorção de umidade, foram utilizadas as massas de corpos de prova secos em estufa e saturados em água.

O teste de resistência à compressão foi realizado seguindo-se as normas brasileiras,<sup>19-20</sup> com o objetivo de verificar a capacidade de carga suportada pelos blocos quando submetidos a uma força perpendicular à sua face, a qual é dimensionada pela resistência característica da amostra ( $f_{bk}$ ), expressa em Mpa. A resistência característica estimada para os blocos e a absorção de umidade foram comparadas com os requisitos das respectivas normas brasileiras.

## 3. Resultados e discussão

A quantidade de lodo gerado na ETA-VM, foi calculada usando-se método empírico,<sup>7</sup> que utiliza dados de análises do lodo dos filtros e decantadores. A média dos valores obtidos foi 7.518 kg d<sup>-1</sup> Sólidos Suspensos Totais, SST (lodo) quando o volume médio de água tratada era 178.162 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>,



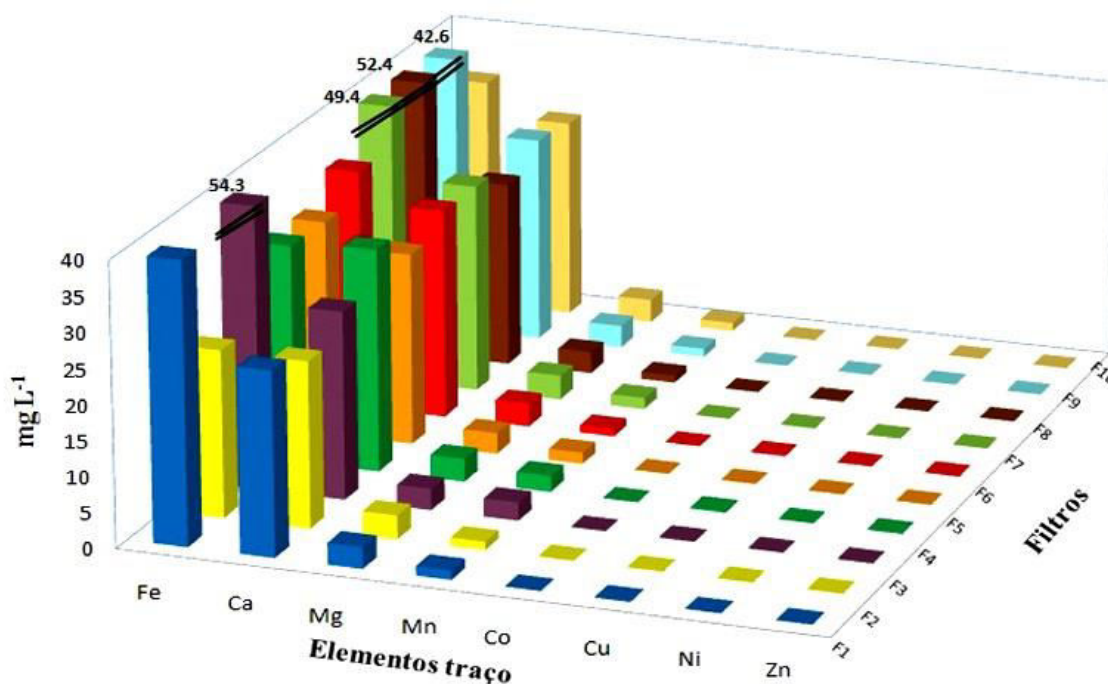
correspondendo à produção de 42g lodo m<sup>-3</sup> de água tratada.

### 3.1. Caracterização dos efluentes da lavagem dos filtros e decantadores da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

As Tabelas 1 e 2 apresentam a média anual das concentrações dos parâmetros determinados nos efluentes dos filtros e decantadores da ETA. As Figuras 3 e 4 apresentam a variação das concentrações referentes aos elementos traço determinados.

No processo de tratamento da água, a quantidade de lodo gerado nos decantadores é maior que a dos filtros, pois a sedimentação é a primeira etapa para a

remoção dos sólidos suspensos, ficando menor quantidade para ser filtrada. Os dados das Tabelas 1 e 2 mostram que os níveis de concentração de níquel, cobalto e zinco nos efluentes dos filtros e decantadores são mais baixos comparados aos outros elementos traço, estando na ordem de grandeza de 10<sup>-2</sup> e 10<sup>-1</sup> mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração de ferro é cerca de 17 vezes mais alta no efluente dos decantadores, assim como os outros elementos traço, com uma concentração média entre 4 a 10 vezes mais altas do que no efluente dos filtros. A contribuição de Fe e Ca, nos efluentes é justificada pelo uso de Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> como coagulante e Ca(OH)<sub>2</sub> para controle do pH na etapa de floculação no processo de tratamento da água. A contribuição dos outros parâmetros observados nas Figuras 3 e 4 é justificada pela qualidade da água bruta que a ETA recebe para tratar.



**Figura 3.** Elementos traço no efluente dos filtros da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

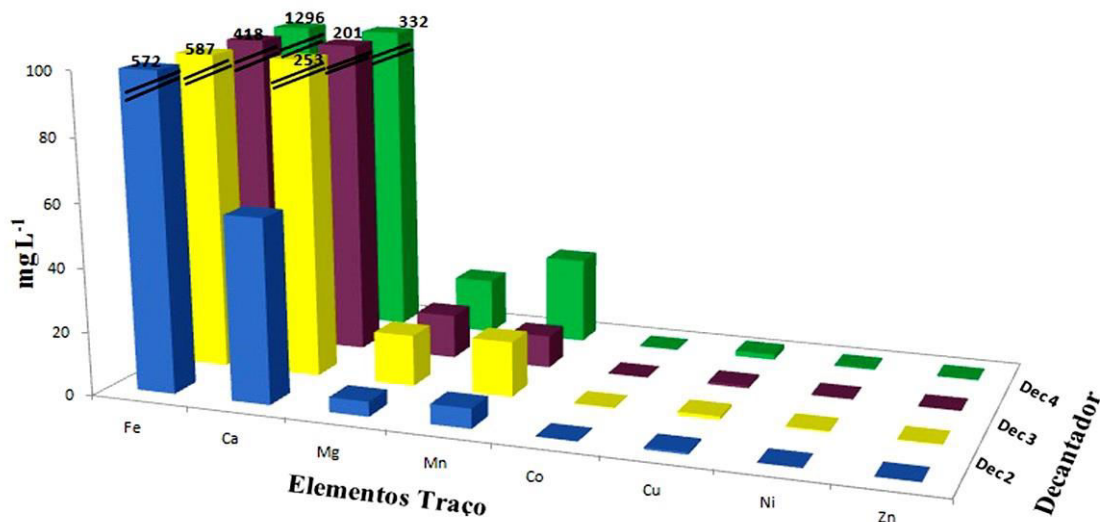
**Tabela 1.** Média anual das concentrações dos parâmetros determinados nos efluentes dos filtros da Estação de Tratamento de água – Vieira de Mello (ETA -VM). Salvador - Bahia, Brasil

Parâmetros	Número do filtro onde o efluente foi coletado									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cor, mg Pt L <sup>-1</sup>	2.20±0.50	7.50±5.9	3.50±1.3	3.50±1.8	4.50±3.1	5.25±2.8	3.75±2.1	6.77±1.5	5.00±4.3	3.75±2.2
Turbidez, NTU	45.8±21	27.3±0.58	52.3±7.0	55.7±2.9	43.8±20	42±13	55.5±14	36.5±15	44.2±21	57.0±27
Condutividade, µmho cm <sup>-1</sup>	335±125	240±3.8	240±3.8	238±7.8	334±110	246±16	258±7.5	243±6.0	288±68	257±5.6
pH	7.25±0.10	7.32±0.15	7.90±0.86	8.58±0.06	8.28±0.16	8.42±0.83	7.59±0.78	6.74±1.9	8.00±0.43	7.77±0.31
Alcalinidade, mg L <sup>-1</sup>	31.0±2.1	29.3±2.0	34.5±1.1	34.4±3.9	35.3±2.7	35.7±2.3	36.0±2.1	35.8±2.1	35.6±3.2	38.2±2.9
Dureza, mg L <sup>-1</sup>	77.7±14	72.2±6.4	78.9±7.2	92.0±16	80.0±3.8	81.9±1.9	88.6±10	78.6±3.5	86.4±9.4	84.5±7.1
Cl <sup>-</sup> , mg L <sup>-1</sup>	32.4±5.1	41.0±7.7	42.6±5.2	35.6±7.6	38.6±7.1	36.8±9.5	36.2±9.7	39.9±9.1	35.9±8.6	32.7±20
Sólidos sedimentáveis, mg L <sup>-1</sup>	15.0±7.7	8.75±3.6	20.5±13	19.0±2.4	13.4±5.9	11.2±5.7	22.8±12	8.38±3.7	13.1±4.3	16.0±2.9
Demanda Química de oxigênio, DQO, mg L <sup>-1</sup>	14.2±2.3	18.2±10	44.8±32	14.9±1.8	38.8±28	37.2±33	33.0±18	7.60±4.8	54.5±22	25.9±13
Ca, mg L <sup>-1</sup>	26.1±4.6	23.4±2.4	26.6±3.1	31.5±6.0	27.2±1.2	29.7±3.8	29.7±4.0	26.4±0.99	29.3±3.4	28.4±2.6
Co, mg L <sup>-1</sup>	0.040±0.01	0.030±0.01	0.020±0.01	0.020±0.01	0.020±0.00	0.030±0.02	0.030±0.02	0.010±0.0	0.030±0.01	0.020±0,01
Cu, m. L <sup>-1</sup>	0,12±0,05	0,050±0,01	0,13±0,04	0,20±0,02	0,090±0,01	0,090±0,05	0,13±0,05	0,070±0,02	0,12±0,07	0,080±0,02
Fe, mg L <sup>-1</sup>	39.9±22	23.6±4.4	54.3±16	30.7±24	30.4±14	34.0±21	49.4±27	52.4±26	42.6±32	33.1±13
Mg, mg L <sup>-1</sup>	3.06±0.52	3.31±0.38	3.03±0.19	3.23±0.34	2.96±0.20	3.25±0.57	3.50±0.39	3.10±0.29	3.17±0.41	3.30±0.35
Mn, mg L <sup>-1</sup>	1.31±044	1.31±0.00	2.57±1.26	2.28±0.47	1.58±0.53	1.02±0.41	1.64±0.34	1.01±0.43	1.15±0.43	1.21±0.37
Ni, mg L <sup>-1</sup>	<0.020	0.027±0.00	0.027±0.01	0.033±0.01	0.023±0.01	<0.020	0.023±0.02	<0.020	0.019±0.01	<0.020
Zn, mg L <sup>-1</sup>	0.030±0.01	0.020±0.01	0.060±0.02	0.040±0.02	0.050±0.02	0.02±0.01	0.030±0.02	0.030±0.01	0.030±0.01	0.030±0.01
Coliformes Totais, NMP / 100 mL	2578±1946	437±748	33.3±27	222±69	290±54	26315±3.7x10 <sup>4</sup>	21±27	17804±1.7 x10 <sup>4</sup>	1177.5±1.2 x10 <sup>3</sup>	58000±7.2x10 <sup>4</sup>
<i>Escherichia coli</i> NMP / 100 mL	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0



**Tabela 2.** Média anual das concentrações dos parâmetros determinados nos efluentes dos decantadores da Estação de Tratamento de água – Vieira de Mello (ETA -VM). Salvador - Bahia, Brasil

Parâmetros	Número do decantador onde o efluente foi coletado			
	1	2	3	4
Cor, mg Pt L <sup>-1</sup>	6.75±2.1	14.8±4.0	156±233	34.0±25
Turbidez, NTU	527±72	822±756	535±353	1825±287
Condutividade, µmho cm <sup>-1</sup>	275±23	303±60	351±100	376±64
pH	7.36±0.17	8.71±0.18	8.77±0.45	8.66±0.52
Alcalinidade, mg L <sup>-1</sup>	40.9±5.5	53.5±30	36.2±8.3	321 ±202
Dureza, mg L <sup>-1</sup>	164±49	698±353	561±634	539±62
Cl <sup>-</sup> , mg L <sup>-1</sup>	42.0±11	39.0±7.7	42.2±14	46.5±12
Sólidos sedimentáveis, mg L <sup>-1</sup>	320±85	435 ±267	494±360	380±309
Demanda Química de Oxigênio, DQO, mg L <sup>-1</sup>	463±211	524±297	526±610	577±431
Ca, mg L <sup>-1</sup>	58.0±18	253±133	201±236	194±21
Co, mg L <sup>-1</sup>	0.090±0.03	0.15±0.07	0.13±0.07	0.20±0.2
Cu, mg L <sup>-1</sup>	0.68±0.2	1.0±0.5	0.83±0.7	1.7±1.5
Fe, mg L <sup>-1</sup>	572±319	587±262	418±311	1295±62
Mg, mg L <sup>-1</sup>	474±1.0	16.1±5.6	14.0±11	17.6±9.8
Mn, mg L <sup>-1</sup>	6.26±2.0	17.3±13	10.3±7.0	27.4±24
Ni, mg L <sup>-1</sup>	0.11±0.03	0.32±0.2	0.23±0.2	0.38±0.3
Zn, mg L <sup>-1</sup>	0.070±0.02	0.15±0.05	0.090±0.07	0.19±0.1
Coliformes Totais, NMP/100 mL	6.47x10 <sup>4</sup> ±6.810 <sup>4</sup>	1.39x10 <sup>6</sup> ±2.1x10 <sup>6</sup>	1.56x10 <sup>6</sup> ±2.4x10 <sup>6</sup>	6.04x10 <sup>5</sup> ±5.8x10 <sup>5</sup>
<i>Escherichia coli</i> NMP / 100 mL	< 1.0	5.25±6.7	< 1.0	< 1.0

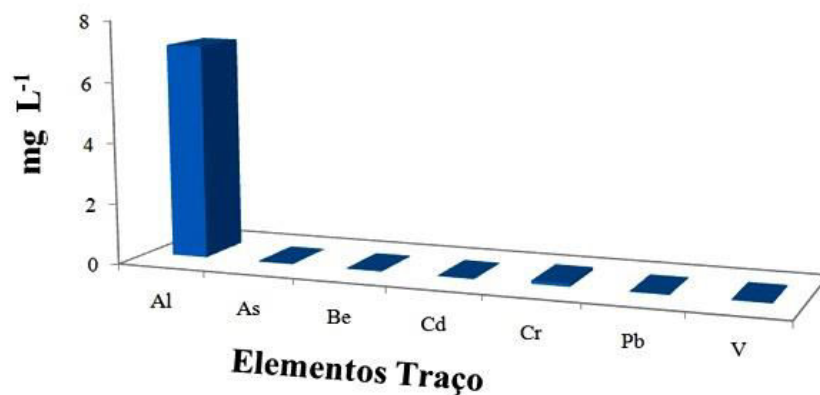


**Figura 4.** Elementos traço no efluente dos decantadores da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA VM)

### 3.2. Caracterização do lodo amostrado na zona morta da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

A Tabela 3 e a Figura 5 apresentam a concentração média de elementos traço no lodo seco, coletado em quatro pontos diferentes da zona morta da ETA VM. Estes resultados, quando comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/11,<sup>25</sup> que dispõe sobre as condições e

padrões de lançamento de efluentes, encontram-se em níveis de concentração mais baixos do que aqueles padrões. Cabe destacar que durante os meses de verão, período seco, principalmente entre outubro e fevereiro, a qualidade da água piora, em função da diminuição das chuvas e conseqüentemente menor diluição dos poluentes, o que reflete na qualidade do lodo gerado na ETA. Mesmo assim as médias anuais para os elementos traço nessa matriz ficam bem abaixo dos limites legislados.



**Figura 5.** Elementos traço no lodo seco da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM)

**Tabela 3.** Concentrações médias de elementos traço determinados no lodo seco da Estação de Tratamento de Água - Vieira de Mello. Salvador-Bahia, Brasil

Elementos Traço	Lodo seco coletado em quatro pontos da zona morta <sup>a</sup> mg L <sup>-1</sup>				CONAMA 430/2011 <sup>b</sup> (mg L <sup>-1</sup> )
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
Al	6.6 ± 2	6.0 ± 2	9.6 ± 2	6.1 ± 2	-
As	3.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 3 x 10 <sup>-4</sup>	2.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 3x10 <sup>-4</sup>	2.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 3 x 10 <sup>-4</sup>	2.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 3 x 10 <sup>-4</sup>	0.5
Be	3.0 x 10 <sup>-4</sup> ± 1 x 10 <sup>-4</sup>	3.0 x 10 <sup>-4</sup> ± 1 x 10 <sup>-4</sup>	5.0 x 10 <sup>-4</sup> ± 1 x 10 <sup>-4</sup>	3.0 x 10 <sup>-4</sup> ± 1 x 10 <sup>-4</sup>	-
Cd	<1.0 x 10 <sup>-4</sup>	<1.0 x 10 <sup>-4</sup>	<1.0 x 10 <sup>-4</sup>	<1.0 x 10 <sup>-4</sup>	0.2
Pb	2.0x10 <sup>-3</sup> ± 4 x 10 <sup>-3</sup>	9.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 4 x 10 <sup>-3</sup>	1.0 x 10 <sup>-2</sup> ± 4 x 10 <sup>-3</sup>	4.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 4 x 10 <sup>-3</sup>	0.5
Cr	0.080± 0.03	0.080 ± 0.03	0.14 ± 0.03	0.090 ± 0.03	1.0
V	6.0x10 <sup>-3</sup> ± 2 x 10 <sup>-3</sup>	8.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 2 x 10 <sup>-3</sup>	1.0 x 10 <sup>-2</sup> ± 2 x 10 <sup>-3</sup>	9.0 x 10 <sup>-3</sup> ± 2 x 10 <sup>-3</sup>	-

<sup>a</sup> Zona morta–tanque coletor de lodo das descargas de lavagens de filtros e decantadores

<sup>b</sup> Limites para descarte de efluentes.<sup>25</sup>

### 3.3. Teste de lixiviação do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA- VM)

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de lixiviação comparados aos níveis limitados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para o extrato lixiviado de resíduos sólidos, mostrando concentrações muito baixas de elementos traço e

classificando o lodo da ETA VM como classe II- não perigoso.<sup>2</sup>

Embora a instituição não dê limites para Al, Be e V,<sup>23</sup> estes elementos foram também determinados, uma vez que o lodo da ETA é um resíduo potencialmente contaminado, podendo conter estes elementos traço. É evidente que há a necessidade de regulamentação para outros parâmetros até agora não levados em conta por este tipo de norma brasileira.

**Tabela 4.** Resultados do teste de lixiviação do lodo seco da Estação de Tratamento de Água – Vieira de Mello (ETA – VM), Salvador - Bahia, Brasil

Teste de Lixiviação	Resultado	Limite NBR <sup>a</sup> 10004 (ABNT <sup>b</sup> , 2004b)
Tempo, h	19	-
pH	7.10	-
Conteúdo de lodo seco	92.5	-
Volume, mL	800	-
Elementos traço, mg L <sup>-1</sup>		
Al	1.2	-
As	< 5 x 10 <sup>-4</sup>	1.0
Be	7 x 10 <sup>-5</sup>	-
Cd	4 x 10 <sup>-5</sup>	0.5
Cr	2 x 10 <sup>-2</sup>	5.0
Pb	< 2 x 10 <sup>-5</sup>	1.0
V	< 1 x 10 <sup>-3</sup>	-

<sup>a</sup> NBR – Norma brasileira que indica a metodologia do teste. <sup>b</sup> ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

### 3.4. Composição e características do material usado para confecção dos blocos

A Tabela 5 apresenta a composição e características dos blocos confeccionados para testes.

O teste de absorção de água mostrou um valor de 16,8 %, próximo do percentual de agregado leve individual ( $\leq 16,0$  %) para os blocos I e II. No entanto, a resistência à compressão não atingiu a faixa determinada pela NBR 6136,<sup>19</sup> obtendo-se valores de 1,4 e 0,8 MPa, respectivamente. Assim, foram testadas outras composições para a confecção de blocos, desta vez sem utilizar a cal e variando a composição do lodo, visando o enquadramento da mesma na referida norma, chegando-se a uma composição adequada, mostrada na Tabela 5 (Bloco III).

Como mostra a Tabela 5, o resultado do teste de resistência à compressão do novo bloco feito com o material de traço 1,0:3,7:0,85:0,28 (Bloco III) em cimento:areia:água:lodo seco, apresentou resistência à compressão (fbk) de 7,8 MPa, ou seja  $\text{fbk} \geq 6,0$  MPa, como era necessário, o que classifica o material como potencialmente adequado para função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo, quando comparado aos requisitos das normas brasileiras.<sup>19-20</sup>

Com relação à absorção de umidade determinada para o bloco confeccionado ( $< 13$  %), a norma determina que o material pode ser considerado um agregado leve, mas, viável para uso como material em construção.<sup>20</sup>

**Tabela 5.** Composição e características dos blocos feitos em dois estágios do trabalho

Materiais	Tipo de bloco			Requisitos para as características do bloco (ABNT 1991; ABNT 1996)			
	I	II	III *				
	Proporção em massa (kg)						
Cimento	5.1	2.5	22	ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas			
Cal	4.6	1.7	-				
Areia	2.9	1.7	81				
Água	1.8	2.0	18				
Lodo seco	1.2	2.7	6.2				
Características							
Largura, mm	390						
Altura, mm	190						
Comprimento, mm	140						
Área, mm <sup>2</sup>	54600						
Massa do corpo-de-prova seco, kg	10.4	9.8	9.9				
Massa do corpo-de-prova saturado, kg	11.2	11.0	11.0				
Resistência à compressão, fbk, MPa	1.4	0.80	7.8	Classe			
				A	B	C	D
				$\geq 6.0$	$\geq 4.0$	$\geq 3.0$	$\geq 2.0$
				Agregado normal: $\leq 10$			

Absorção de umidade %	8.50	11.9	11.9	Agregado leve: ≤ 13% (média); ≤ 16% (valor individual)
--------------------------	------	------	------	--

\* Bloco usado no 2<sup>o</sup>estágio do trabalho

#### 4. Conclusões

O estudo da viabilidade da utilização do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM) na confecção de blocos para a construção civil, o qual sugeriu a composição do material nas proporções 1,0:3,7:0,85:0,28 em cimento:areia:água:lodo respectivamente, determinou a habilidade do resíduo sólido como matéria prima para aquela finalidade, uma vez que as análises do lodo seco revelaram as seguintes faixas de concentração para elementos traço: 6,0 – 9,6 mg L<sup>-1</sup> Al; (2,1 – 2,9) x 10<sup>-3</sup> mg L<sup>-1</sup> As; (0,30 – 0,80) x 10<sup>-3</sup> mg L<sup>-1</sup> Be; (<1,0 – 1,2) x 10<sup>-4</sup> mg L<sup>-1</sup> Cd; (8,3 – 14) x 10<sup>-2</sup> mg L<sup>-1</sup> Cr; (2,0 – 10) x 10<sup>-3</sup> mg L<sup>-1</sup> Pb; (6,5 – 12) x 10<sup>-3</sup> mg L<sup>-1</sup> V, abaixo dos padrões legislados pelo CONAMA 430/11, referente a lançamento de efluentes. O resultado obtido para o teste de resistência à compressão,  $f_{bk,est} = 7.8$  Mpa, ou seja, > 6,0 MPa, classifica o bloco como potencialmente adequado para função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo. O resultado obtido no teste de absorção de umidade, 11,9 %, ou seja < 13,0 %, classifica o bloco sugerido neste estudo com absorção de agregado leve, mas dentro das classes estabelecidas nos correspondentes requisitos dos padrões brasileiros, viáveis para a utilização do material em construção. O teste de lixiviação visando a determinação da capacidade de transferência de espécies químicas do material para o ambiente, mostrou concentrações muito mais baixas do que os níveis legislados pela correspondente norma brasileira, o que permitiu classificar o resíduo como classe II (não perigoso).

O volume de água tratada na ETA-VM de cerca de 178.162 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> gera 42 g m<sup>-3</sup> de

Sólidos Suspensos Totais, cerca de 7.518 kg de lodo, permitindo a confecção de 15.764 blocos por dia.

Este trabalho identificou uma tecnologia econômica e ambientalmente adequada de destinação final para o resíduo da Estação de Tratamento de Água Vieira de Mello (ETA-VM), a qual poderá ser estendida para outras Estações de Tratamento de Água.

#### Agradecimentos

À EMBASA (Empresa Baiana de Águas e Saneamento) e a todos os seus técnicos e funcionários administrativos, pela colaboração no desenvolvimento das atividades necessárias para a realização deste trabalho.

#### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> BRASIL. *Lei federal 12.305*, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduo Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 02 outubro 2017.
- <sup>2</sup> ABNT, 2004a. NBR 10004: *Resíduos sólidos - Classificação*. Disponível em: <http://www.videverde.com.br/docs/NBR-n-10004-2004.pdf>. Acesso em: 03 fevereiro 2017.
- <sup>3</sup> Achon, C. L.; Barroso, M. M.; Cordeiro, J. S. Residues of water treatment plants and ISO 24512: challenge of the Brazilian sanitation. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2013**, *18*, 115. [CrossRef]
- <sup>4</sup> Grandin, S. R.; Alem Sobrinho, P.; Garcia JR., A. D.; *Resumos do Congresso Brasileiro de*

*Engenharia Sanitária e Ambiental*, Natal, Brasil, 1993.

<sup>5</sup> Souza, F. G. C.; Cordeiro, J. S., Resíduos gerados em estação de tratamento de água com descargas diárias. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, San Juan. Anais AIDIS, 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/glaucio.pdf>>. Acesso em: 02 fevereiro 2017.

<sup>6</sup> Di Bernardo, L.; Paz, L. P. S.; *Selection of Water Treatment Technologies*, 1a. ed., LDIBE: São Carlos, SP, 2008.

<sup>7</sup> Di Bernardo, L.; Dantas, A.; *Methods and Water Treatment Techniques*, 2a. ed., LDIBE: São Carlos, SP, 2005.

<sup>8</sup> Richter, C. A.; *Water - Methods and Treatment Technology*, Edgard Blucher: São Paulo, 2009.

<sup>9</sup> Cordeiro, J. S., Importância do Tratamento e disposição dos lodos de ETAs. Noções Gerais de Tratamento e disposição Final de lodos de Estação de Tratamento de Água. Disponível em: <[blog.eco4planet.com/.../eco-tijolos-sao-feitos-com-lodo-das-estacoes-detratamento-de-agua](http://blog.eco4planet.com/.../eco-tijolos-sao-feitos-com-lodo-das-estacoes-detratamento-de-agua)>. Acesso em: 10 Abril 2017.

<sup>10</sup> Vitorino, J. P. D.; Monteiro, S. N.; Vieira, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. *Cerâmica* **2009**, *55*, 385. [CrossRef]

<sup>11</sup> Tartari, R.; Díaz-Mora, N.; Módenes, A. N.; Pianaro, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. *Cerâmica* **2011**, *57*, 288. [CrossRef]

<sup>12</sup> De Resende, D. S.; Bezerra, A. C. S.; de Gouveia, A. M. C. Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de batata pré-fritas. *Revista Escola de Minas* **2012**, *65*, 169. [CrossRef]

<sup>13</sup> Hoppen, C.; Portella, K. F.; Joukoski, A.; Baron, O.; Franck, R.; Sales, A.; Andreoli, C. V.; Paulon, V. A. Co-disposição de lodo

centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. *Cerâmica* **2005**, *51*, 85. [CrossRef]

<sup>14</sup> Da Silva, C. R. L.; Chinelatto, A. L. Chinelatto, A. S. A. Viabilidade da incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em massa cerâmica para produção de blocos. *Cerâmica* **2015**, *61*, 31. [CrossRef]

<sup>15</sup> Esteves, F. A.; *Fundamentos de Limnologia*, 2a.ed., Interciência: Rio de Janeiro, RJ, 1998.

<sup>16</sup> Barroso, M. M.; Cordeiro, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliguabrazil/i-065.pdf>>. Acesso em: 11 Abril 2017.

<sup>17</sup> BRASIL, *Resolução normativa do Conselho Federal de Química CFQ nº 254/2013*. Disponível em <[www.cfq.org.br/rn/RN254.htm](http://www.cfq.org.br/rn/RN254.htm)>. Acesso em: 01 outubro 2017.

<sup>18</sup> Pereira, T. M.; Gomes, M. H. R.; Pereira, R. O. 2012. Estimativa Final da Produção de Lodo em Estações de Tratamento de Água: Estudo de Caso. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271837175>. Acesso em: 10 Abril 2017.

<sup>19</sup> ABNT, 1996. *NBR 7215: Determinação da resistência à compressão*. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sheyqueiroz/nbr-721596-cimento-portland-resistencia-a-compresso>>. Acesso em: 25 janeiro 2017.

<sup>20</sup> ABNT, 2006. *NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos*. Disponível em: <<http://www.construpac.com.br/pdf/nbr6136.pdf>>. Acesso em: 28 fevereiro 2017.

<sup>21</sup> ABNT, 2007. *NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio*. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/99529470/nbr-12118-2010-blocos-vazados-de-concreto-simples-para-alvenaria-metodos-de-ensaio>>. Acesso em: 10 fevereiro 2017.

<sup>22</sup> Clesceril, S.; Greenberg, A. E.; Eaton, A. D.; *Standard methods for the examination of*



*water and wastewater*, 2a. ed., American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA, 2005.

<sup>23</sup> ABNT, 2004b. *NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Disponível em: <<http://www.ecosystem.com.br/wp-content/uploads/2014/03/NBR-10005.pdf>>. Acesso em: 10 janeiro 2017.

<sup>24</sup> ABNT, 2004c. *NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos*. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>>. Acesso em: 03 fevereiro 2017.

<sup>25</sup> BRASIL – Ministério de Meio Ambiente. *Resolution CONAMA 430, de 13 de maio de 2011*, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646](http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646)>. Acesso em: 01 outubro 2017.