

PRINIELY BEATRIZ REIS SCARIN

**Avaliação de meios de destinação alternativos para lodo resultante de tratamento
de efluentes industriais: estudo de caso em indústria química**

Guaratinguetá - SP

2017

Priniely Beatriz Reis Scarin

Avaliação de meios de destinação alternativos para lodo resultante de tratamento de efluentes industriais: estudo de caso em indústria química

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Márcia Regina de Freitas

Guaratinguetá - SP
2017

S285a Scarin, Priniely Beatriz Reis
Avaliação de meios de destinação alternativos para lodo resultante de
tratamento de efluentes industriais: estudo de caso em indústria química /
Priniely Beatriz Reis Scarin – Guaratinguetá, 2017.
65 f. : il.
Bibliografia : f. 40-42

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Profª. Drª. Márcia Regina de Freitas

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos sólidos. 3. Lodo.
4. Efluente – Qualidade. I. Título

CDU 628.54


Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

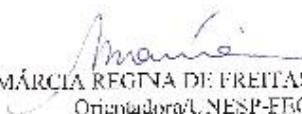
PRINIELY BEATRIZ REIS SCARIN

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL."

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.


Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA DA SILVA
Coordenador do curso

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MÁRCIA REGINA DE FREITAS
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOÃO UBIRATAN DE LIMA SILVA
Membro convidado/UNESP-FEG


Prof. Msc. THIAGO BAZZAN
Membro convidado/UNESP-FEG

Dezembro / 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é o maior responsável por essa conquista e por todas as outras que ainda virão,

aos meus pais, Fernando e Cristina, por todo o sacrifício que sempre fizeram para garantir a felicidade e realização de seus filhos e por todo o amor e apoio em todos os momentos,

aos meus irmãos, Fernando e Paulo, que desde a infância são figuras inspiradoras e pelo suporte que sempre foi oferecido,

ao apoio do Prof. Dr. Daniel Clemente V. R. Da Silva, pelo suporte prestado e pela paciência durante esse ano,

à minha orientadora, Prof. Dr. Márcia Regina de Freitas e ao técnico do Departamento de Engenharia Civil, Flávio A. Bernardes da Silva, pelo aconselhamento e suporte técnico,

aos amigos que me acompanharam nessa trajetória, em especial aos que cursaram Engenharia Civil junto a mim e também às amadas moradoras da República Tcheca, por todo o amor compartilhado nesses anos, nós compartilharemos para sempre as lembranças dos melhores momentos vividos durante a graduação.

“Mas a sabedoria que vem do alto é antes de tudo pura; depois, pacífica, amável, compreensiva, cheia de misericórdia e de bons frutos, imparcial e sincera.”

Tiago 3:17

RESUMO

Os resíduos sólidos representam mundialmente uma preocupação no que diz respeito à sua correta destinação e a sua geração. No âmbito industrial, além de demandarem uma atenção maior devido à possível periculosidade desses resíduos, a correta destinação destes representa custos onerosos para as empresas geradoras. Como uma alternativa para amenizar o problema de destinação dos resíduos sólidos encontra-se a aplicação destes em materiais da construção civil e também na agricultura como fertilizantes. Tais alternativas vão de encontro ao conceito de Economia Circular, já que a utilização dessas alternativas nos setores da construção civil ou agricultura reduziria o consumo de matérias primas nesses setores. Entre os resíduos sólidos industriais com notável atenção de pesquisas encontra-se o lodo residual de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), onde frequentemente busca-se encontrar alternativas mais sustentáveis para a correta destinação dos mesmos. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo analisar o lodo residual da ETE de uma indústria química e, utilizando-se da classificação toxicológica do mesmo e de características da ETE e da indústria geradora, propor as melhores alternativas para a destinação do lodo. Esse estudo de viabilidade foi realizado restringindo-se a aplicações em materiais cerâmicos, cimentícios e em solos cultiváveis. Para tal, utilizou-se como base pesquisas já desenvolvidas nessa área, levando em conta o tratamento necessário para o lodo em cada um dos três métodos estudados e os resultados apresentados após a destinação, tanto no que diz respeito ao tratamento do resíduo como também na qualidade do material ou fertilizante produzido. Por fim, a ordem de atratividade encontrada para aplicação do lodo em questão nos métodos estudados foi primeiramente a aplicação em materiais cerâmicos, depois a aplicação em solos cultiváveis e por último como materiais cimentícios. No entanto, uma avaliação mais acurada sobre a viabilidade e atratividade dessas alternativas para destinação do lodo necessitará de ensaios que comprovem os resultados satisfatórios dessas metodologias para o lodo estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade. Resíduos Sólidos Industriais. Lodo. Estação de Tratamento de Efluentes.

ABSTRACT

Solid waste represents a worldwide concern when regarding its correct destination and its generation. In the industrial sphere, in addition to demanding greater attention due to the possible hazardousness of these wastes, their correct allocation represents high costs for the responsible companies. As an alternative to soften the problem of solid waste disposal is the application of these in building materials and also in agriculture as fertilizers. Such alternatives are related with the concept of Circular Economy, since the use of these in the civil construction or agriculture sectors would reduce the consumption of raw materials in these sectors. Among the solid industrial wastes with notable research attention is the residual sludge from Wastewater Treatment Plants, where it is often sought to find more sustainable alternatives for their correct disposal. In this sense, the present study had as the main objective to analyze the residual sludge from the Wastewater Treatment Plant of a chemical industry and, using its toxicological classification and the characteristics of the Wastewater Treatment Plant and also the industry, and to propose the best alternatives for the sludge destination. This feasibility study was carried out for the application in ceramic, cement and soil culture materials and used many researches already developed in this area, taking into account the treatment required for the sludge in each of the three methods studied and the results presented after disposal of the waste as well as the quality of the material or fertilizer produced. Finally, the sequence of attractiveness found for the application of the sludge in the studied methods was first the application in ceramic materials, then the application in cultivable soils and finally as cementitious materials, however, a more accurate evaluation on the viability and attractiveness of these alternatives for sludge disposal will require tests that prove the satisfactory results of these methodologies for the sludge studied.

KEYWORDS: Sustainability. Industrial Solid Waste. Sewage Sludge. Wastewater Treatment Plant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	12
Figura 2 - Cenário brasileiro quanto à geração (a) e captação (b) de RSU.....	12
Figura 3 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/dia)	13
Figura 4 - Disposição final de RSU na região Sudeste (T/dia)	13
Figura 5 - Disposição final de RSU no Estado de São Paulo (T/dia)	13
Figura 6 - Esquema de operação da ETE estudada.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CLE	Cinza de Lodo de Esgoto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	VISÃO GERAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	18
3.2	APLICAÇÃO DE LODO DE ETE EM COMPOSTOS CERÂMICOS.....	20
3.3	APLICAÇÃO DE LODO DE ETE EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS.....	21
3.4	APLICAÇÃO DE LODO DE ETE NA AGRICULTURA.....	23
3.5	OUTRAS ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DE LODO DE ETE.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.2	CARACTERÍSTICAS DO LODO DA ETE.....	27
4.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS.....	27
5	RESULTADOS	28
5.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
5.2	CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETE.....	30
5.2.1	Caracterização do lodo de 2016.....	30
5.2.2	Caracterização do lodo de 2014.....	31
5.2.3	Caracterização do lodo de 2010/2011	31
5.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS.....	32
5.3.1	Aplicação em compostos cerâmicos.....	32
5.3.2	Aplicação em compostos cimentícios.....	33
5.3.3	Aplicação na agricultura	33
6	DISCUSSÃO	34
6.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
6.2	CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETE.....	34
6.2.1	Caracterização do lodo de 2016.....	34

6.2.2	Caracterização do lodo de 2014.....	35
6.2.3	Caracterização do lodo de 2010/2011	35
6.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS.....	35
6.3.1	Aplicação em compostos cerâmicos.....	36
6.3.2	Aplicação em compostos cimentícios.....	36
6.3.3	Aplicação na agricultura	36
7	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	39
	ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO – 2016.....	43
	ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO – 2014	52
	ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO – 2010/2011	61

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da consolidação do capitalismo como principal sistema econômico e social vigente em todo o mundo, questões como a proteção do meio ambiente e a responsabilidade social surgem para questionar a sustentabilidade do capitalismo como sistema. Essas questões tornam-se pertinentes no cenário mundial atual uma vez que muito se tem estudado a respeito do uso ótimo dos recursos naturais, fortemente defendido como alternativa para o desenvolvimento sustentável de acordo com a economia neoclássica (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2010).

O desenvolvimento sustentável em seu conceito empresarial se subdivide em três pilares, originalmente introduzidos por John Elkington em 1997. Esses pilares, chamados de “The Tripple Bottom Line” são: o pilar ambiental, o pilar social e o pilar econômico e os três devem coexistir e sustentar todas práticas organizacionais de uma empresa que almeja o desenvolvimento sustentável. Segundo Elkington¹ (1997 apud FROEHLICH; BITENCOURT (2016), a aplicação desses três pilares faz com que as empresas busquem não apenas os lucros e os resultados econômicos, mas também o desempenho ambiental e social.

Alinhado a isso, foram elaborados em 2015 os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, com o intuito de serem aplicados por todos os países do mundo durante 15 anos, até 2030. As ações que podem ser observadas na Figura 1 envolvem desenvolvimento social, político, econômico e educacional, redução da fome e da pobreza, recuperação e preservação dos ecossistemas, entre outras ações com enfoque nas três áreas do desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). O Brasil, de acordo com o Environmental Performance Index (EPI) realizado em 2016, se encontra em 43º lugar em desempenho ambiental entre 180 países. Tal estudo baseia-se em métricas direcionadas a 7 dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, tendo como enfoque dois eixos principais: proteção da saúde humana e proteção dos ecossistemas, e se utiliza de 20 indicadores para possibilitar tal classificação (HSU, 2016).

¹ ELKINGTON, J. (1997). *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford: Capstone Publishing. Apud FROEHLICH, C.; BITENCOURT, C. C. *Sustentabilidade Empresarial: Um Estudo De Caso Na Empresa Artecola*. GeAS – Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 5, p. 55–71, 2016.

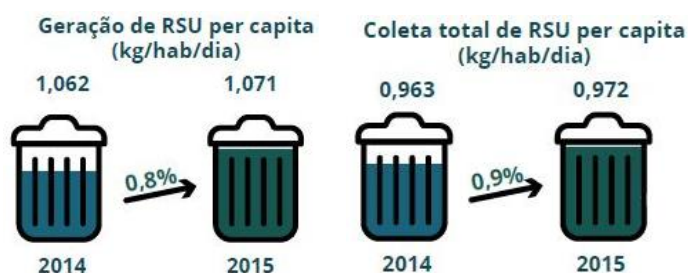
Figura 1 - 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2015)

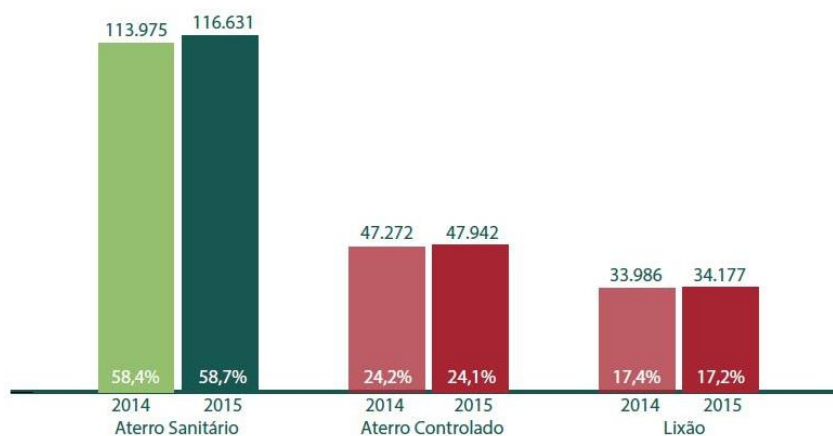
O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, de 2015, revela que foram gerados um total de 79,9 milhões de toneladas em 2015, sendo que destes, 90,8% foram coletados, o que resulta em cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos sem coleta no país, que consequentemente foram destinados inadequadamente. As Figuras de 2 a 5 retratam o contexto brasileiro de gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com destaque para a Região Sudeste e para o Estado de São Paulo (ABRELPE, 2015).

Figura 2 - Cenário brasileiro quanto à geração (a) e captação (b) de RSU



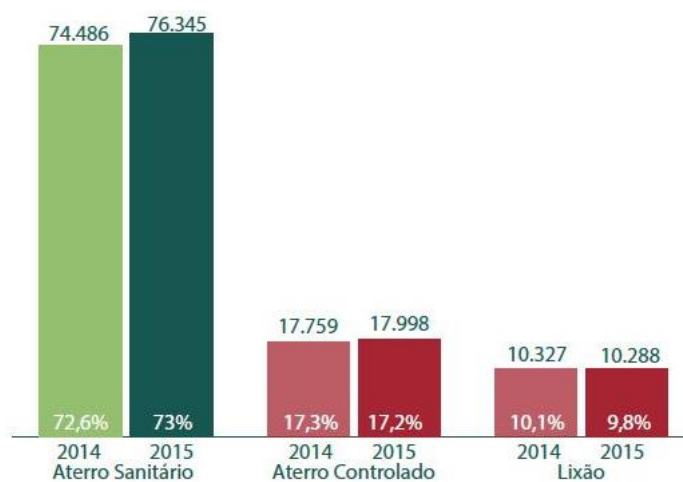
Fonte: ABRELPE (2015)

Figura 3 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (T/dia)



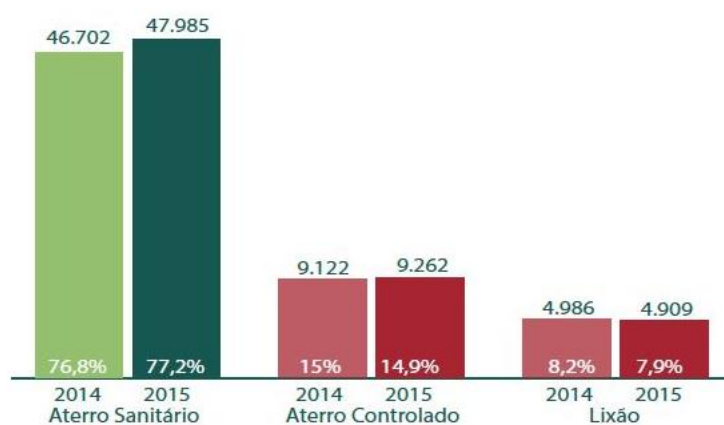
Fonte: ABRELPE (2015)

Figura 4 - Disposição final de RSU na região Sudeste (T/dia)



Fonte: ABRELPE (2015)

Figura 5 - Disposição final de RSU no Estado de São Paulo (T/dia)



Fonte: ABRELPE (2015)

Em relação aos resíduos sólidos industriais, são considerados desse tipo todos os resíduos no estado sólido ou semi-sólido gerados por atividades industriais, incluindo também lodos e determinados líquidos, cujo lançamento indiscriminado e sem fiscalização no meio ambiente é inviável devido às suas características físicas, químicas e biológicas. É considerado como poluição a ação desses resíduos ao modificar a condição inicial do ambiente em que são aplicados, tanto quanto a seu aspecto estético, sua composição ou sua forma (PEREIRA, 2016).

Estes resíduos sólidos são classificados através da identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus compostos e características físicas e químicas. As concentrações desses elementos químicos são comparadas com concentrações pré-definidas determinadas de acordo com o impacto ambiental e à saúde da população dos mesmos. No Brasil, os resíduos sólidos são classificados em 3 tipos, sendo esses os Resíduos Sólidos Classe I, que são resíduos perigosos, os Resíduos Sólidos Classe II A, que são resíduos não perigosos e não inertes e os Resíduos Sólidos Classe II B, que são resíduos não perigosos e inertes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Nos últimos anos tem-se dado destaque à responsabilidade dos resíduos gerados e aos custos de destinação dos mesmos. No Brasil, de acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, ficou determinado que a responsabilidade da correta destinação e gestão dos resíduos sólidos é do gerador desses resíduos, que é responsável também pelo monitoramento desse resíduo eternamente ou até que esse seja completamente destruído. No caso de resíduos industriais, a indústria geradora deve comprometer-se com a reciclagem ou destinação correta dos mesmos, podendo essa destinação ser em forma de coprocessamento, incineração, aterro sanitário ou compostagem, o que for mais recomendado para o tipo de resíduo a ser processado. A Lei no 12.305/2010, em seu Artigo 3º, define como destinação final ambientalmente adequada,

a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2012, p. 10).

Essa destinação dos resíduos produzidos pelas indústrias se apresenta como um grande gerador de custos indesejáveis para a companhia. Dessa forma, essa área evidencia grandes oportunidades a respeito de projetos que minimizem esses custos e, ao mesmo tempo,

destinem os resíduos de forma correta e sustentável. Indústrias de diversos segmentos vêm ao longo do tempo direcionando cada vez mais esforços para a redução de desperdícios nas produções, além de maneiras para evitar a geração de resíduos, como por exemplo, a logística reversa (MARCHI, 2011).

Em uma análise de impacto de custos, de acordo com Almeida (2011), as ações que geram menores custos para as indústrias são ações de redução de desperdícios, seguidas de alternativas de aplicação dos resíduos em outras indústrias e após, de reciclagem. Já as alternativas de destinação como o aterramento, a compostagem, a incineração, entre outras, são alternativas que geram mais gastos, ou devido aos seus custos, que são elevados, ou devido à possibilidade de gerarem passivos ambientais para as indústrias.

Uma das formas de se responsabilizar pelos próprios resíduos é realizando o tratamento dos efluentes produzidos pela própria indústria. Esse dever da empresa pode ser realizado através do financiamento de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) externa à planta ou da criação de uma ETE interna (ALMEIDA, 2011).

A respeito do funcionamento de ETEs tradicionais, considera-se que elas seguem etapas de tratamento semelhantes entre si. Porém, a etapa fundamental e também a mais delicada de uma ETE é o processamento bioquímico da matéria orgânica existente no efluente, que ocorre após etapas de pré-tratamento que retiram, através de métodos físicos, os resíduos maiores e facilmente removíveis. A fase de processamento é realizada por microrganismos, entre eles bactérias e protozoários, que consomem e digerem a matéria orgânica existente e permitem a clarificação do efluente liberado para os cursos de água, após a decantação dos flocos biológicos residuais. Esses flocos biológicos, que são formados pela biomassa dos microrganismos, ao sofrerem decantação compõem o chamado lodo, e, após essa etapa, são destinados ao tratamento que se considerar mais adequado para o mesmo (CAVALCANTI, 2009).

Posteriormente ao tratamento do lodo, que basicamente promove a remoção do excesso de água, busca-se a destinação adequada para o mesmo. Dependendo da classificação de periculosidade do efluente que o gerou, o lodo pode ser incinerado, enviado para aterros sanitários, ou para compostagem, não se esquecendo que os consideráveis custos com logística também se somam ao custo de destinação (GODOY, 2013).

Muito se tem pesquisado a respeito de alternativas de tratamento do lodo, em busca de uma solução mais sustentável para o mesmo. Entre as opções com maior aplicabilidade no cenário atual do estado de São Paulo estão a fabricação de cimento, disposição no solo para plantações em geral, fabricação de tijolos, compostagem, entre outras soluções. A gama de alternativas a ser exploradas dependerá da composição química do efluente gerador do lodo e da sua classificação toxicológica, que poderão apresentar restrições em alguns casos, ou passar a obedecer normas específicas relacionadas à determinadas aplicações (SMOL et al., 2015).

De acordo com Castro et al. (2015), entre 2004 e 2014 pôde-se notar predominância no Brasil do uso agrícola como principal aplicação alternativa de lodos de águas residuais. Essa alternativa representa 91,7% do total da bibliografia pesquisada, sendo utilizado na produção vegetal ou na recomposição de áreas degradadas, sendo que 82,1% estão relacionados com a Agricultura, Silvicultura e Produção Ornamental, com maior ênfase na produção do milho com 19,9% do total dos artigos. Já as vertentes de pesquisa do uso desse biossólido na produção de artefatos cerâmicos, construção civil e geração de energia, por exemplo, aparecem em menor número, com 8,3% do total, ressaltando, assim, a necessidade de investimentos e incentivos do poder público e da sociedade na busca de alternativas para disposição desse resíduo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar a composição e características do lodo da ETE de uma indústria química de São José dos Campos e a viabilidade de destinação do mesmo como componente de materiais cerâmicos, de materiais cimentícios e como fertilizante em solos cultiváveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar comparativamente entre os três métodos analisados as peculiaridades, vantagens, desafios, restrições e recomendações dessas aplicações para o caso particular estudado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 VISÃO GERAL SOBRE REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Em todo o mundo, busca-se cada vez mais o reaproveitamento de resíduos, de forma a minimizar os impactos ambientais e financeiros causados pela destinação desses elementos, que podem ser destinados correta ou incorretamente, sendo que a destinação correta tem um maior impacto financeiro e um menor impacto ambiental e a destinação incorreta representa o inverso em relação aos impactos. Além disso, a aplicação desses resíduos como componentes de novos materiais diversos visando a destinação ideal dos mesmos também reduz o impacto financeiro e ambiental causado pela utilização de matérias-primas para a fabricação desses novos materiais (ANDREOLI, 2001).

Na Europa, tem-se estimulado a denominada economia circular, que busca otimizar ao máximo o reaproveitamento de bens dentro de uma cadeia, o que se torna possível através de modificações nas cadeias produtivas, nos modos produtivos e na reutilização e reaproveitamento das matérias primas. Estudos envolvendo o reuso de cinzas de lodo de estações de tratamento de efluentes na Europa têm encontrado grande importância dessa aplicação na manutenção da economia circular. Os elementos principais de aplicação estudados são cimentos, tijolos, cerâmicas, vidros, materiais para pavimentação de estradas, entre outras alternativas (SMOL et al., 2015).

Ainda na União Europeia, resíduos como lodo, óleos e gorduras provenientes de plantas de tratamento de efluentes não podem ser destinados ao meio ambiente ou ambientes controlados. Portanto, estudos envolvendo meios de processar e estabilizar esses resíduos, bem como maneiras de aplicá-los como material de construção, como fertilizantes ou como combustível alternativo para fornos de incineração vem sendo desenvolvidos buscando cada vez mais atingir uma maior eficiência econômica e ambiental para tal resíduo. Os principais desafios e resultados buscados relacionam-se ao tratamento dos resíduos, para que estes reduzam em suas capacidades de poluição e contaminação para poderem assim ser mais facilmente aplicados como fertilizantes ou como combustíveis, sempre tendo em mente a necessidade de garantir que esses meios de estabilização e tratamento sejam viáveis

economicamente e ambientalmente, de modo que toda essa cadeia se torne sustentável e possibilite a volta de nutrientes para a cadeia alimentar – via fertilizantes – ou a redução de consumo de combustíveis fósseis e matérias-primas esgotáveis (BRATINA et al., 2016).

No Marrocos, estudos envolvendo aplicação de lodo de Estações de Tratamento de Água (ETA) como componente de tijolos cerâmicos estruturais em substituição à argila também destacam o valor econômico de tais projetos, principalmente em relação aos custos de destinação desse resíduo para locais adequados. Também são analisados os fatores considerados principais para a obtenção do melhor tijolo fabricado a partir da aplicação de lodo de ETA. Esses fatores seriam a temperatura de queima dos tijolos e a porcentagem de substituição da argila pelo lodo: ao se realizar diversas combinações, pode-se obter a que otimiza a resistência dos tijolos, por exemplo (BENLALLA et al., 2015).

Lodos de ETAs podem ainda ser utilizados em substituição à areia presente no concreto ou outros compostos cimentícios. No Brasil, Tafarel et al. (2016) obteve resultados satisfatórios para substituição de até 5% de areia pelo lodo, porém identificou que 10% de substituição não atingia as mínimas resistências normativas. Hoppen et al. (2006) obtiveram resultados parecidos em um estudo bem semelhante, exceto pela observação que realizaram de que com as resistências à compressão apresentadas pelos concretos com 4 e 8% de substituição, os mesmos poderiam ser utilizados como concretos estruturais, se existissem mais estudos que analisassem o comportamento desses elementos ao longo do tempo.

Em se tratando de lodos residuais provenientes de estações de tratamento de efluentes, nas quais o presente estudo concentra preferencialmente sua atenção, algumas características estão presentes em grande parte desses resíduos, sejam eles de origem urbana ou industrial, e necessitam ser eliminadas de alguma forma, antes ou durante a destinação escolhida para esse resíduo. Características como odor elevado e presença de organismos patogênicos, por exemplo, podem ser eliminadas segundo o processo de estabilização. Esse processo pode ser realizado de algumas maneiras, sendo as principais maneiras que visam estabilizar o resíduo já em seu estado sólido a estabilização térmica e a estabilização biológica, via compostagem. A estabilização térmica consiste no aquecimento de amostras do resíduo em questão a fim de se remover a água presente no mesmo, porém, como essa técnica não elimina a matéria orgânica, logo que o lodo for reidratado o mesmo terá sua atividade biológica reestabelecida e com ela também o odor. Já o processo de estabilização via compostagem se trata de uma biooxidação aeróbia exotérmica que, entre seus produtos, gera uma matéria orgânica estável,

dependendo de boas condições de aeração, temperatura, umidade e pH para que uma boa estabilização ocorra. Entretanto, de acordo com a legislação brasileira, os resíduos que podem ser destinados à compostagem são somente os classificados como não perigosos e inertes, o que, no caso dos lodos de ETE, se trata de uma pequena minoria (ANDREOLI, 2001).

3.2 APLICAÇÃO DE LODO DE ETE EM COMPOSTOS CERÂMICOS

Em se tratando da aplicação de lodos de ETE em compostos cerâmicos, esta pode envolver o simples aproveitamento de lodo cerâmico em materiais como tijolos por exemplo, o que reduz as chances de grandes perdas das propriedades físicas e mecânicas dos tijolos, já que o lodo aplicado apresenta composição mineralógica semelhante ao material que substitui. Estudos que aplicam essa metodologia obtêm tijolos feitos com reaproveitamento de lodo com resultados satisfatórios de resistência mecânica, absorção à água, aspectos físicos, entre outras análises comparativas que permitem a utilização desse novo modelo de tijolo sem grandes dificuldades (COLETTI et al., 2016).

No momento em que se objetiva empregar comercialmente a aplicação de cinza de lodo de ETE em tijolos cerâmicos, uma característica que precisa ser controlada é a variabilidade do resíduo aplicado. Essa variabilidade pode vir tanto do próprio resíduo que foi tratado e originou o lodo como também do processo de queima desse lodo. Estudos vem desenvolvendo metodologias que buscam garantir a estabilidade e confiabilidade do material pronto para aplicação em tijolos ou outros materiais cerâmicos. Na Europa, ao garantir que a metodologia e o equipamento para incineração realizem a queima de maneira eficaz, garante-se também que as pequenas variações que um lodo de ETE pode apresentar sejam eliminadas após a incineração, garantindo, assim, que a cinza obtida apresente características constantes (ANDERSON; SKERRATT, 2003).

A aplicação de lodo de ETE também foi estudada para outros materiais cerâmicos, embora se tratem de estudos mais esporádicos. Um estudo desenvolvido no Reino Unido compilou resultados obtidos em todo o mundo relacionados à aplicação de cinza de lodo de ETE na confecção de diversos materiais cerâmicos. Uma das descobertas foi que estudos envolvendo aplicação em azulejos esmaltados e não esmaltados não apresentaram problemas para a produção de ambos os azulejos com adição de até 50% de cinza de lodo em substituição da argila. Porém, apenas as substituições até 40% foram satisfatórias para aplicação em azulejos de parede e de teto, de acordo com as devidas legislações vigentes dos países estudados (LYNN; DHIR; GHATAORA, 2016).

Em se tratando da aplicação na Indústria, Benatti (2014) destaca o potencial da aplicação de lodo de ETE como aditivo em tijolos cerâmicos de solidificar e estabilizar os componentes contidos no resíduo. No estudo realizado em uma indústria têxtil, essa técnica foi utilizada com o objetivo de mobilizar metais pesados na matriz queimada e também para oxidação da matéria orgânica e destruição de possíveis organismos patogênicos durante o processo de queima. Os resultados encontrados atingiram os limites normativos estabelecidos para porcentagens de substituição de argila pelo lodo residual de 5, 10, 15 e 20%, sendo que os resultados foram considerados satisfatórios quando os extratos solubilizados e lixiviados das amostras de tijolos com inserção de lodo apresentaram valores de metais abaixo dos limites estabelecidos pela NBR 1004/2004. Dessa forma, os tijolos resultantes desse ensaio são considerados materiais não perigosos e inertes, ao contrário do lodo antes da sua aplicação, que era um resíduo não perigoso porém não inerte.

Resultados semelhantes foram obtidos por um estudo realizado em uma lavanderia industrial na região de Maringá, PR. Apesar da resistência aumentar conforme a porcentagem de inclusão do lodo aumentava, e também da absorção de água aumentar junto com o aumento da porcentagem aplicada de lodo, substituições de 5, 10, 15 e 20% apresentaram valores de resistência e absorção de água dentro dos estabelecidos na norma. Também, após a confecção dos tijolos cerâmicos de vedação nos extratos de solubilização e lixiviação não foram encontrados os metais que antes estavam presentes no resíduo, ou seja, o material passou a ser inerte. Além disso, a respeito do modo de preparo das amostras de lodo, elas passaram por secagem ao sol durante 72 horas, sem ter passado por um processo de queima após essa etapa. Porém, durante a confecção dos tijolos, a quantidade aplicada era o suficiente para uma homogeneização visual da mistura, sendo que conforme aumentava a porcentagem aplicada de lodo, a água necessária para essa homogeneização era cada vez menor, ou seja, não houve o estabelecimento de percentuais de aplicação de água nas amostras confeccionadas (HEREK et al., 2009).

3.3 APLICAÇÃO DE LODO DE ETE EM COMPOSTOS CIMENTÍCIOS

Outra alternativa para aplicação de lodos residuais de ETE ainda no âmbito da construção civil é na composição de materiais cimentícios. Pavlík et al. (2016) em seu estudo envolvendo aplicação de lodo de uma ETE em Patras, Grécia, utilizou-se de um tratamento térmico com uma elevada eficiência energética para destacar aspectos das vantagens dessa aplicação de resíduos que nem sempre são notados. Como resultados, obteve-se que o

comportamento do lodo residual, mesmo após tratado, se assemelha mais ao comportamento de um filler do que de uma pozolana, e por isso a máxima substituição do cimento que apresentou valores de resistência mecânica e absorção de água aceitos pelas normas foi com 10% de lodo. No entanto, foi também observado que para cada 10% de substituição de cimento por lodo, o consumo de energia necessário para a confecção da mistura também reduz 10%, e que os gases de efeito estufa emitidos durante o tratamento térmico do lodo é cerca de vinte vezes menor do que na fabricação de cimento Portland. É evidenciado, então, a importância ambiental e econômica de estudos envolvendo tais aplicações.

Já um estudo desenvolvido com lodo proveniente de ETE municipal no interior do estado de São Paulo obteve cinza de lodo de esgoto (CLE) a partir da autocombustão, que apresentou resultados semelhantes à incineração controlada em mufla, resultando em uma CLE com características químicas e mineralógicas com potencial pozolânico porém com algumas características que se distanciam desse potencial. Tal aplicação do lodo consistiu em substituições de 5, 10, 15, 20 e 25% em massa do cimento Portland pela CLE em amostras de argamassas, onde essa aplicação afetou a trabalhabilidade das mesmas pois demandava uma quantidade maior de água para as confecções. Todas as porcentagens de aplicação da CLE na matriz cimentícia de argamassas com idades de cura avançadas apresentaram valores de resistência satisfatórios, realçando assim a efetividade do processo de incineração e de aplicação (ISTUQUE, 2015).

A respeito da aplicação na Indústria, um estudo realizado em uma indústria de processamento de couros teve como objetivo o encapsulamento do cromo presente no lodo residual da mesma por meio de aplicação em matrizes de cimento, ou seja, desejava-se a solidificação e estabilização do resíduo por meio dessa técnica, sendo que o composto mais crítico presente nesse resíduo era o cromo. O resíduo, classificado como resíduo perigoso segundo a NBR 10004/2004, foi aplicado em amostras de concreto com substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo em porcentagens de 2, 4, 6 e 8%, onde apresentou resultados satisfatórios no que tange ao encapsulamento do cromo e também de outros componentes que apresentavam em concentrações acima do permitido, com exceção do alumínio, pois o mesmo é adicionado ao efluente tratado durante o processo de tratamento visando uma maior eficiência. Já a respeito dos resultados de resistência mecânica do concreto confeccionado, foi observado que as resistências mecânica e à compressão diminuem com o aumento da aplicação de lodo, sendo que somente as substituições de 2 e 4% atenderam aos valores normativos para aplicação em concretos não estruturais. Ressalta-se ainda a necessidade de

estudos adicionais envolvendo a análise do concreto em seu estado fresco e também da reação reológica dessa aplicação ao longo do tempo nas amostras de concreto (PERON, 2008).

No que se refere a características particulares a serem analisadas, estudos na Colômbia avaliaram as propriedades de um concreto auto adensável em estado fresco e curado com adição de lodo calcário gerado pela ETE de uma indústria de papel. O lodo substituiu o cimento em proporções de 35% e 50% em massa e os ensaios comparativos foram feitos utilizando-se de um concreto auto adensável com adição de calcário comercial moído. As propriedades avaliadas foram: trabalhabilidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade, porosidade e absorção de água. Ao fim do estudo, concluiu-se que todas as misturas apresentaram características de concretos auto adensáveis. Todavia, em relação aos ensaios e aos valores considerados ideais para esses concretos, somente a mistura com 35% de adição de lodo pode ser considerada adequada para a produção de concreto auto adensável de média resistência (35 Mpa a 28 dias), por mais que, em todos os casos, as misturas com adição de calcário comercial moído tenham apresentado resultados melhores de resistência à compressão, porosidade e absorção de água (SILVA et al., 2013).

3.4 APLICAÇÃO DE LODO DE ETE NA AGRICULTURA

A respeito da aplicação do lodo de ETE na agricultura, no Brasil, o órgão regulamentador é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que busca definir quais análises químicas e mineralógicas devem ser realizadas tanto no material a ser aplicado (lodo) como também no solo a se aplicar. Essas análises possuem metodologias já conhecidas, como por exemplo as elaboradas pela United States Environment Protection Agency (U.S. EPA), mas também constam análises onde o CONAMA desenvolveu a metodologia considerada ideal, com base em estudos fundamentais na área. Na resolução nº 375, que é a que define os critérios e procedimentos para utilização agrícola de lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes, são observados como pontos de atenção: a composição química do lodo, o potencial patológico e toxicológico das amostras, o potencial fertilizante das mesmas, acidez, umidade, concentração de Carbono Orgânico, o modo como o lodo será aplicado no solo, a concentração dessa aplicação, entre outros pontos que também são monitorados (CONAMA, 2006).

A disposição de resíduos oriundos de ETE em solos cultiváveis se mostra como a aplicação mais interessante e difundida dessa prática, pois, além de destinar corretamente o

resíduo em questão, objetiva também fornecer nutrientes ao solo, aumentar a resistência à erosão do mesmo, entre outros benefícios que buscam uma possibilidade de retorno financeiro ao agricultor que desejar executar essa técnica em suas terras (ANDREOLI, 2001). No entanto, outras vantagens podem ser extraídas dessa aplicação, como foi estudado por Christofolletti (2013), que observou as diferenças entre um lodo residual aplicado à cultura de cana-de-açúcar como fertilizante antes e depois de passar por bioprocessamento por diplópodes. Os resultados obtidos relacionados à diminuição da toxicidade do lodo sujeito ao bioprocessamento expressam que essa pode ser uma alternativa de tratamento dos lodos antes da destinação à agricultura, com o objetivo de reduzir o perigo toxicológico apresentado por esses resíduos, por mais que apresentem concentrações de contaminantes dentro dos limites especificados pela legislação.

Corrêa et al. (2008) desenvolveu um estudo com aplicação de lodo de esgoto centrifugado proveniente de uma ETE municipal a fim de observar o efeito dessa aplicação na correção da acidez e na mobilidade de íons em Latossolo Vermelho distrófico, em área de plantio direto. O resíduo foi aplicado em concentrações de 2, 4 e 8 t/ha e com três meses de aplicação já foi possível observar o aumento do pH do solo, de saturação por bases e a disponibilidade de nitrato, cálcio e magnésio até a profundidade de 40 cm do solo. Ao fim dos 27 meses do estudo, foi comprovado que o lodo em questão pode ser utilizado como corretivo de acidez e aplicado no sistema de plantio direto.

Exemplos dessa aplicação também foram observados com a utilização de lodos provenientes de efluentes industriais. Vieira; Castilhos; Castilhos (2011) estudou a aplicação de lodo anaeróbico oriundo do processo de parboilização do arroz, utilizando-se da alta concentração de elementos como N e P desse efluente. Como resultado dessa aplicação pôde-se observar uma melhora no rendimento de matéria seca do milho, bem como o aumento do pH, da condutividade elétrica e de teores de N, P, K e Na do solo e também o aumento de teores de N, P e K e a diminuição de Ca e Mg na parte aérea do milho. Já Pereira; Garcia (2017) observou os efeitos da aplicação do lodo proveniente de uma indústria alimentícia de frutas e legumes tanto no Latossolo cultivado com Eucalipto como na água subterrânea nas proximidades dessa área. Os resultados obtidos foram de que para aplicação em áreas de plantio o lodo em questão deve sofrer um tratamento prévio para redução de patógenos e, após a aplicação desse lodo tratado, tanto a água subterrânea como o solo analisados não apresentaram aumento de substâncias tóxicas. Além disso, o solo estudado foi beneficiado

com aumento da saturação por bases, da soma de bases, capacidade de troca catiônica e da concentração de matéria orgânica, que comprova o aumento da fertilidade do mesmo.

3.5 OUTRAS ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DE LODO DE ETE

Uma alternativa para aplicação de resíduos sólidos ainda no ramo da construção civil é a adição de cinza de lodo de ETE em misturas de solo-cimento como aditivo estabilizante para emprego em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários. Em ensaios onde substituiu-se em 5, 10, 20 e 30% a mistura de solo-cimento pela cinza de lodo de ETE, foi observado um aumento de resistência da mistura em todas as porcentagens de substituição do lodo. A substituição ótima observada foi utilizando-se de 20% de resíduo, que acarretou um aumento da resistência de 26% comparado com a mistura sem aplicação de lodo. Apesar do aumento da resistência apresentado, são necessários estudos prévios abrangendo uma análise de custo de ciclo de vida dessa substituição a fim de se viabilizar a prática dessa alternativa em escala, atingindo assim progressos tanto em relação ao consumo sustentável como também em relação aos ganhos de resistência das vias (INGUNZA; PEREIRA ; DOS SANTOS JUNIOR, 2015).

Também relacionado ao emprego citado anteriormente, uma outra alternativa é a aplicação dos resíduos sólidos de ETA e ETE em concreto betuminoso usinado a quente. Para tal, o tratamento aplicado a ambos os resíduos é a secagem à temperatura ambiente por 15 dias para após isso passarem por dois tipos diferentes de tratamento: o primeiro se trata da calcinação dos resíduos a 200 °C, 300 °C, 500 °C e 800 °C em mufla por aproximadamente 45 minutos e o segundo do aquecimento a 175 °C em estufa durante 24 horas. Ambos os tratamentos seriam utilizados posteriormente em aplicação em Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) na proporção 80-20 (80% de CAP e 20% de lodo). É importante salientar que, em busca de opções que utilizassem o mínimo de tratamento possível aos resíduos tanto por motivos sustentáveis mas também devido aos custos desses tratamentos, foram sugeridas também as aplicações após somente a secagem ao sol e após secagem a 100 °C em estufa por 24 horas, porém essas duas alternativas se mostraram insatisfatórias na aplicação desejada, pois geraram uma reação de envelhecimento precoce da mistura, causado pela presença de matéria orgânica e também um pouco de umidade restante nos resíduos. Em relação aos resultados, os lodos de ETA calcinados a 500°C apresentaram melhores propriedades mecânicas e de adesividade, já os lodos de ETE que apresentaram melhorias em suas

propriedades mecânicas foram os secos a 175 °C. Dessa forma o estudo comprova a viabilidade estrutural e ambiental de implementação dessa alternativa para destinação de resíduos de ETAs e ETEs, que pode ser reforçada com mais estudos nessa área (MARTINEZ, 2014).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado utilizando-se de dados fornecidos pela Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria química de São José dos Campos. A pedido da empresa, foi mantido sigilo de algumas informações, como por exemplo o nome da mesma e também dos laboratórios que forneceram os estudos analisados, e, portanto, todas as informações fornecidas pela empresa serão referenciadas nesse papel como Empresa X. A respeito da ETE, foi realizado um detalhamento do modo de operação da mesma e elaborado um esquema gráfico com as etapas existentes.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO DA ETE

A análise das características do lodo em questão foi baseada em diferentes classificações segundo a NBR 10004 realizadas por laboratórios externos certificados. Essas análises são necessárias para a obtenção do Certificado de Aprovação para Destinação de Resíduos Industriais (CADRI) e são realizadas sempre que necessário a recertificação. Para o presente estudo foram utilizadas as 3 últimas análises, realizadas em 2010/2011, 2014 e 2016.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS

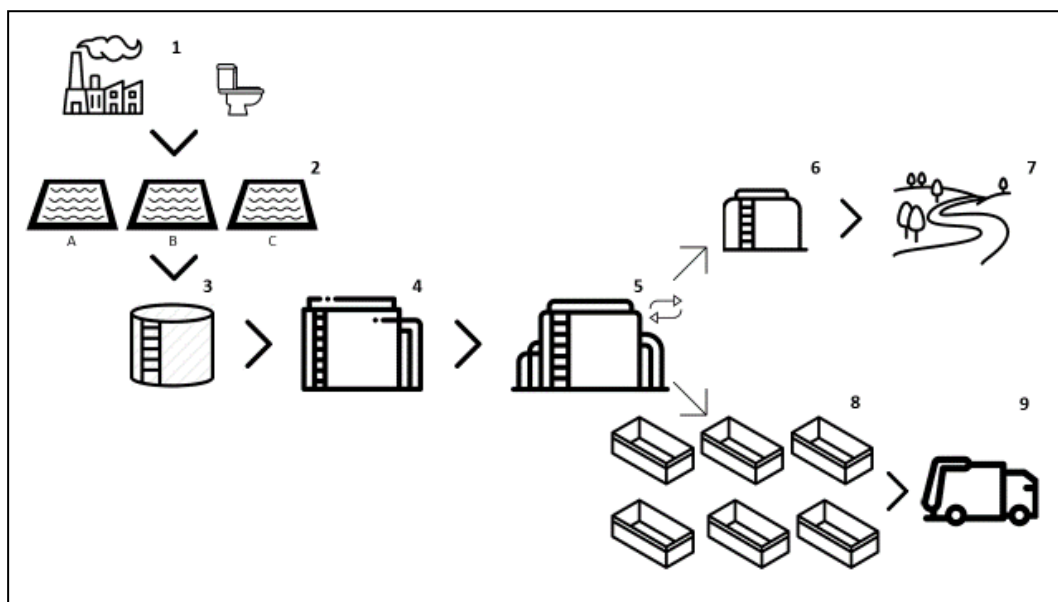
Conforme mapeado ao se observar a literatura existente a respeito de alternativas sustentáveis para a correta destinação dos lodos de ETE, as principais práticas atuais incluem a aplicação em compostos cerâmicos, em compostos cimentícios, e em áreas de plantio. A fim de se avaliar a viabilidade, os benefícios e os desafios de cada uma dessas três alternativas, foi realizado um compilado dos estudos encontrados na literatura. Essa avaliação terá um enfoque voltado para o lodo em questão e suas características.

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A Estação de Tratamento de Efluentes estudada é responsável por aproximadamente 30% do total de resíduos sólidos destinados a aterros sanitários pela indústria geradora. Essa quantidade equivale a um montante aproximado de 10 toneladas por mês de lodo a um custo de destinação de R\$180,00 por tonelada. A seguir observa-se o detalhamento dos processos que envolvem a ETE em questão com base no esquema apresentado abaixo na Figura 6.

Figura 6 - Esquema de operação da ETE estudada



Fonte: Próprio autor (2017)

Etapa 1: Os efluentes tratados nessa ETE são oriundos de diversos processos químicos produtivos realizados na indústria estudada e também de rejeitos sanitários produzidos pela mesma.

Etapa 2: A estação dispõe de três lagoas (A, B e C) para recebimento e armazenamento dos efluentes de todos os pontos geradores da planta, sendo todas as lagoas conectadas entre si. As capacidades das lagoas A, B e C são, respectivamente, 1800 m³, 1800 m³ e 5000 m³. O fluxo habitual entre essas lagoas é o recebimento de todos os efluentes da planta na lagoa B, para o posterior lançamento para a lagoa A e por fim o direcionamento ao Tanque de Equalização, restando assim a lagoa C que permanece a maior parte do tempo vazia a fim de estar disponível para armazenamento dos efluentes em caso de alguma atividade anormal na planta, como por exemplo uma manutenção periódica em algum processo, a lavagem de um

tanque entre outras atividades que fogem do habitual da planta. Esse uso da lagoa C justifica a maior capacidade apresentada por ela em relação às lagoas A e B. No caso da necessidade de se utilizar a lagoa C para recebimento de efluentes que fujam aos padrões, os mesmos serão lançados aos poucos para a lagoa A para diluição e posterior direcionamento ao Tanque de Equalização.

Etapa 3: O Tanque de Equalização consiste em um pequeno tanque com capacidade de 268 m³, estando usualmente abastecido de 20% a 80% de sua capacidade. Nele, os efluentes se apresentam com pH ácido e, portanto, seu objetivo é homogeneizar os efluentes recebidos de forma que, ao desaguar no Reator Biológico, haja estabilidade na oferta de carga orgânica.

Etapa 4: Em seguida os efluentes são levados ao Reator Biológico, também chamado de Tanque de Aeração, pois nele pode-se observar mecanismos de inserção de oxigênio ao longo do tanque que, além de viabilizar a existência dos organismos aeróbicos no tanque, também auxiliam na movimentação do líquido. Esses mecanismos de aeração geram uma concentração de Oxigênio no tanque de 0,8 a 3 mg/L que é uma faixa de concentração ótima para a atividade dos microrganismos. Com capacidade de 5100 m³ e normalmente carregado acima dos 90% dessa capacidade, esse tanque se caracteriza como o coração da ETE, pois é nele que a maior parte da carga orgânica é decomposta, graças à ação de bactérias e protozoários. Nele, os efluentes passam a apresentar pH neutro após a adição de Hidróxido de Sódio (NaOH), o que também possibilita a vida dos microrganismos no tanque.

Em relação aos parâmetros acompanhados no Tanque de Aeração estão o pH do efluente em tratamento, a temperatura do mesmo e também a concentração de Oxigênio no tanque, sendo que todas as medições são realizadas e acompanhadas online. Entre essas aferições, a única que é realizada como requisito legal, para atendimento da CETESB, é a temperatura dos efluentes, que não podem ser lançados em corpos hídricos acima de 40°C. Já o pH e a concentração de Oxigênio são acompanhados devido ao fato de serem fatores críticos para a vida dos microrganismos ali presentes e, dessa forma, para a decomposição de matéria orgânica dos efluentes.

Etapa 5: Ao serem lançados ao Tanque Clarificador, o lodo, formado pela decomposição da matéria orgânica e pelos microrganismos que morreram, sofre decantação. Dessa forma, a água clarificada que fica na superfície, já tratada e com remoção de 90 a 95% de matéria orgânica, escoia pelas laterais do tanque, sendo levada até a Caixa Geral. Já o lodo,

após decantado, pode ter dois destinos: ou sofre recirculação para auxiliar novamente no processo de decomposição da matéria orgânica no Tanque de Aeração, aumentando assim a eficiência do processo; ou é levado aos Leitos de Secagem para perder umidade através de secagem ao ar livre. A recirculação do lodo é baseada na idade do mesmo e no crescimento dos microrganismos presentes, pois enquanto estão jovens, podem contribuir na decomposição no Tanque de Aeração e quando estão mais velhos, não tem mais a eficácia desejada e podem ser levados aos Leitos de Secagem.

Etapa 6: Ao ser direcionada para a Caixa Geral, após testes que comprovam se a remoção da carga orgânica foi eficaz (acima de 80%, de acordo com a Lei N.º 8.468, de 1976) a água clarificada é levada por tubulações por gravidade até o Rio Paraíba, que se localiza nas proximidades do site (Etapa 7). A vazão máxima que pode ser lançada aos corpos hídricos, de acordo com a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos concedida pela ANA é 300 m³/h e a ETE em questão lança usualmente em torno de 250 m³/h.

Já o lodo que não pode mais ser reaproveitado é, por sua vez, direcionado via tubulação, em forma de descarregamentos diários, para um dos 12 leitos de secagem dispostos nas proximidades do Tanque Clarificador, cada um com capacidade de 95 m³ (Etapa 8). O tempo de permanência de cada carregamento de lodo no Leito de Secagem dependerá das condições ambientais pois o lodo deverá atingir sempre um mesmo estado de desidratação, que será analisado visualmente, antes de ser removido do leito.

Etapa 9: Como a destinação do lodo na época do estudo era o aterro sanitário, o lodo permanecia armazenado até a próxima coleta para o envio ao aterro, feita periodicamente pela empresa responsável, dispondo os resíduos em um aterro controlado.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETE

A respeito da classificação toxicológica do lodo, esta foi obtida no presente trabalho por meio de Relatórios de Ensaio das três últimas análises realizadas por laboratórios externos acreditados.

5.2.1 Caracterização do lodo de 2016

Segundo a classificação do resíduo da ETE em questão segundo a NBR 10004 realizada em 2016 obteve-se as características expostas no Anexo A. Nessa análise, as metodologias

utilizadas foram baseadas em “SW 846 (U.S. EPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC)” e as normas de referência foram NBR 10004:2004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos, NBR 10006:2004 da ABNT - Ensaio de Solubilização e NBR 10005:2004 da ABNT - Ensaio de Lixiviação, sendo que essas metodologias estão melhor detalhadas no Quadro 1 do Anexo A. As determinações sobre os extratos do Solubilizado e Lixiviado foram realizadas com base nos métodos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 22th Edition – 2012.

5.2.2 Caracterização do lodo de 2014

De modo semelhante, a classificação do resíduo da ETE em questão segundo a NBR 10004 realizada em 2014 obteve-se as características expostas no Anexo B. Assim como na classificação realizada em 2016, as metodologias utilizadas nas análises de 2014 foram baseadas em “SW 846 (U.S. EPA 1986, Test Method for Evaluating Solid Waste Report Number 846, Washington, DC)” e as normas de referência foram NBR 10004:2004 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos, NBR 10006:2004 da ABNT - Ensaio de Solubilização e NBR 10005:2004 da ABNT - Ensaio de Lixiviação, sendo que essas metodologias estão melhor detalhadas no Quadro 1. As determinações sobre os extratos do Solubilizado e Lixiviado foram realizadas com base nos métodos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 22th Edition – 2012.

5.2.3 Caracterização do lodo de 2010/2011

Os resultados analíticos dessas caracterizações estão expostos no Anexo C. A coluna M presente nos resultados diz respeito à metodologia utilizada para tais parâmetros, onde a legenda para as metodologias dos parâmetros analisados em 2010 consta no Quadro 1 e o método utilizado para todos os parâmetros analisados em 2011 foi o EPA SW 846 – 8260 B – Volatile Organic Compounds by GC/MS. Já a coluna de letra I diz respeito à acreditação da análise em questão, onde “A” significa que o parâmetro é acreditado pelo Inmetro e “...” significa que o parâmetro não é acreditado. As análises foram realizadas em duas etapas, sendo elas em 2010 e 2011.

5.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS

Os estudos realizados nessa área buscam garantir a viabilidade da aplicação de resíduos provenientes de ETEs nos mais diversos materiais, e utilizando-se de variados métodos. Nesse trabalho, verificou-se, entre os materiais destacados como principais alternativas de destinação do lodo analisado, os métodos mais difusos e praticáveis, que serão expressos a seguir.

5.3.1 Aplicação em compostos cerâmicos

Dentre os estudos com aplicação em materiais cerâmicos avaliados, no que se trata do material, a maior parte dos estudos direcionou sua atenção aos tijolos, sejam eles maciços manufaturados por meio de moldes ou blocos realizados por meio do processo de extrusão (VIEIRA et al., 2016 e INGUNZA; DUARTE; NASCIMENTO, 2011). Porém, pesquisas também foram desenvolvidas visando a aplicação de lodos em materiais como telhas e azulejos, por exemplo (LYNN; DHIR; GHATAORA, 2016).

Em relação ao tratamento realizado com o lodo, estes vão desde a aplicação após a simples secagem ao sol até a obtenção de cinza de lodo de esgoto, que pode ser obtida através de diversos métodos de queima do lodo. Os estudos envolvendo a aplicação da cinza do lodo são mais abrangentes do que os que se utilizam de tratamentos mais simples, sendo que grande parte dos estudos se dedica a desenvolver um modo de calcinação ideal do lodo, que otimize o consumo de energia e o resultado obtido na cinza (HEREK et al., 2009 e ANDERSON; SKERRATT, 2003).

Todos os estudos analisados envolvendo materiais cerâmicos utilizaram-se da argila como composto para ser substituído pelo lodo. Além disso, a argila utilizada nesses estudos foi obtida nas regiões próximas dos locais de ensaios. Já as porcentagens máximas de substituição que resultaram em ensaios de resistência e absorção de água satisfatórios quando comparados com as normas regulamentadoras desses materiais variam de 15 a 40%. (SILVA, 2010 e LYNN; DHIR; GHATAORA, 2016).

5.3.2 Aplicação em compostos cimentícios

As pesquisas envolvendo a aplicação em materiais cimentícios concentram-se mais comumente em ensaios em concreto (PERON, 2008), porém também são desenvolvidas aplicações em argamassas (ISTUQUE, 2015). A respeito do material a ser substituído, a grande maioria utilizou o lodo de ETE em substituição ao próprio cimento, mas também existem estudos onde o material substituído é o agregado miúdo (areia).

O tratamento mais desenvolvido do lodo quando se objetiva utilizá-lo como componente de materiais cimentícios é o tratamento térmico, que por sua vez sofre algumas pequenas alterações. Algumas dessas alterações são relacionadas à temperatura e ao tempo de tratamento, e também ao equipamento utilizado para tal, sendo que as temperaturas normalmente são acima do que tradicionalmente é utilizado para desidratar amostras (100 °C), caracterizando, então a calcinação das amostras (PAVLÍK et al., 2016).

Os estudos observados apresentam como máxima porcentagem de substituição do cimento pelo lodo variando de 4 a 35%, com performances apresentando melhoras em alguns aspectos após aplicação do lodo e também apresentando prejuízos em outros aspectos porém que se enquadram nos valores normativos aceitados (SILVA et al., 2013).

5.3.3 Aplicação na agricultura

Em se tratando da aplicação na agricultura, as concentrações e métodos de tratamento prévio do lodo apresentam grandes variações entre os estudos observados. O principal orientador de metodologias que podem e devem ser aplicadas é a resolução 375 do CONAMA, que alerta sobre o monitoramento de aspectos críticos dessa atividade. Como um exemplo das inúmeras variações observadas, pode-se citar a concentração das aplicações em solos cultiváveis, que podem ser desde 2,5 e 5,0 Mg/ha até 2, 4 e 8 t/ha (ARAÚJO et al., 2008 e CORRÊA et al., 2008).

6 DISCUSSÃO

6.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A respeito dos custos que a correta destinação do lodo significa à empresa estudada, aproximadamente R\$ 21.600,00 são estimados anualmente para a devida alocação em aterro industrial. Além disso, no que tange às perdas ambientais, deve-se considerar a utilização de combustível fóssil para o transporte desse resíduo ao local adequado e também o risco de esgotamento do aterro industrial utilizado atualmente e, ao longo da vida da ETE, de alguns outros aterros. Sobretudo, aterros sanitários têm o chorume como principal resíduo gerado, que, devido ao seu alto potencial poluente, exige um monitoramento rígido e oneroso, envolvendo o tratamento desse resíduo e a constante avaliação da contaminação dos solos e águas nas proximidades (POLZER, 2013).

6.2 CARACTERÍSTICAS DO LODO DE ETE

Segundo a NBR 10004, os resíduos sólidos se classificam em uma das três classes estabelecidas de acordo com o seguinte:

Classe I: Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do Lixiviado e/ou Massa Bruta estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004;

Classe II A: Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004;

Classe II B: Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.

De acordo com isso, seguem as conclusões obtidas quanto à classificação do resíduo estudado nos três anos de análises.

6.2.1 Caracterização do lodo de 2016

Na análise de 2016, em relação aos parâmetros do solubilizado, o parâmetro Ferro é o único que ultrapassa os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G. Em

relação aos parâmetros de massa bruta e lixiviado, nenhum parâmetro excedeu os Valores Máximos Permitidos. Portanto, o resíduo foi classificado como Classe II A.

6.2.2 Caracterização do lodo de 2014

Na análise de 2014, em relação aos parâmetros do solubilizado, os parâmetros Ferro e Alumínio ultrapassam os Limites Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G. Em relação aos parâmetros de massa bruta e lixiviado, nenhum parâmetro excedeu os Valores Máximos Permitidos. Sendo assim, o resíduo foi classificado como Classe II A.

6.2.3 Caracterização do lodo de 2010/2011

Na análise de 2010/2011, em relação aos parâmetros do solubilizado, os parâmetros Bário, Fenóis, Ferro, Sódio e Surfactantes ultrapassam os Limites Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo G. Em relação aos parâmetros de massa bruta e lixiviado, nenhum parâmetro excedeu os Valores Máximos Permitidos. Sendo assim, o resíduo foi classificado como Classe II A.

Também, de acordo com os três relatórios observados, obteve-se as seguintes análises em relação à NBR 10004:2004:

1. O resíduo não está relacionado nas listagens do Anexo A – Resíduos perigosos de fontes não específicas e do Anexo B – Resíduos perigosos de fontes específicas;
2. O resíduo pode apresentar substâncias relacionadas nas listagens do Anexo C – Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos, do Anexo D - Substâncias agudamente tóxicas e do Anexo E – Substâncias tóxicas;
3. O resíduo não apresenta as características de corrosividade, reatividade, patogenicidade e inflamabilidade.

6.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE DE APLICAÇÃO NOS MATERIAIS ESTUDADOS

Em todos os estudos de aplicação prática nas três alternativas analisadas, nota-se que o processo que origina o lodo aplicado influencia consideravelmente no resultado obtido, podendo ser observados métodos muito semelhantes de tratamento aplicados a diferentes lodos que apresentaram, portanto, resultados diferentes (PERON , 2008).

6.3.1 Aplicação em compostos cerâmicos

A partir dos resultados observados relacionados ao tratamento do lodo, apesar do tratamento envolvendo somente a secagem ao sol do lodo ser ambientalmente mais atraente, ele não permite uma fácil replicabilidade do método, ou seja, impossibilitaria a aplicação comercial do mesmo (HEREK et al., 2009). Em relação ao tipo de tijolo produzido, apesar do tijolo cerâmico ser mais prático para ser realizado, no contexto atual da região Sudeste do Brasil existe hoje uma demanda muito maior por blocos cerâmicos, que por sua vez são produzidos por extrusão (GALATTO et al., 2009).

6.3.2 Aplicação em compostos cimentícios

Quando se trata da aplicação do lodo de ETE em compostos cimentícios, como já foi citado, a mesma pode acontecer via substituição do cimento ou do agregado miúdo da mistura. Isso acontece devido ao comportamento do lodo após passar pelo processo de calcinação, que pode apresentar características mais semelhantes a um filler ou a uma pozolana. Além disso, a substituição do cimento pela CLE, quando comparada às restantes, pode apresentar o maior potencial de ganho energético e ambiental, quando se analisa o processo produtivo da matéria prima a ser substituída pelo lodo, pois o processo produtivo do cimento é notadamente o mais poluente entre as três matérias primas estudadas (PAVLÍK et al., 2016).

6.3.3 Aplicação na agricultura

Conforme já apresentado, as alternativas de aplicação do lodo avaliadas nesse estudo devem ser analisadas tendo em mente o lodo em questão para ter como base o tratamento a ser aplicado e o resultado esperado. No caso da aplicação agrícola, o resultado considerado ideal apresenta uma melhora do desempenho da plantação que pode ser comparada às melhoras obtidas com aplicação de fertilizantes comerciais (ANDREOLI, 2001).

Nesse caso, uma análise importante a ser feita é a respeito da percepção dos agricultores com essa aplicação, que, segundo Case et al. (2017), identificam como principais barreiras os odores desagradáveis aos vizinhos, a incerteza dos nutrientes contidos nas misturas e a dificuldade do planejamento e do uso. No entanto, identificam como as principais vantagens a melhoria observada da estrutura dos solos, o baixo custo para aplicação e a ampla disponibilidade.

7 CONCLUSÃO

Em relação a Estação de Tratamento de Efluentes estudada, apesar de se tratar de uma indústria química, onde comumente as ETEs tem como objetivo principal o tratamento da toxicidade do resíduo, o objetivo primeiro, no caso da empresa em questão, é a remoção de carga orgânica presente nos efluentes. Para tal processo utiliza-se de microrganismos aeróbicos que se concentram principalmente no tanque chamado Reator Biológico, em um processo que não apresenta grandes diferenças se comparado com ETEs tradicionais com o mesmo mecanismo de funcionamento.

Já a respeito dos processos executados na planta e aos efluentes gerados por eles, pode-se observar que não sofrem grande variação ao longo do tempo, o que permite que os efluentes possam ser considerados estáveis, ou seja, que não apresentam variações relacionadas às concentrações dos constituintes ou às características que apresentam. Esse fato pode ser provado também através das consecutivas classificações realizadas periodicamente por laboratório externo qualificado com base na NBR10004, que apresentam sempre a mesma classificação para o lodo, sendo esta como resíduo sólido não perigoso e não inerte.

A combinação dessas duas características (processo de tratamento da ETE conhecido e estabelecido e efluentes tratados constantes ao longo do tempo) torna o lodo resultante desse processo uma excelente alternativa para aplicações em métodos mais sustentáveis de destinação do lodo, diferentes do convencional.

Seguindo a metodologia proposta por Santos (2003) fim de se escolher entre as alternativas apresentadas a que se mostra mais interessante para aplicação do resíduo estudado, sem dúvidas o primeiro passo é realizar testes iniciais em cada uma das alternativas. Como a performance nos métodos se relaciona diretamente com o resíduo aplicado, esses testes iniciais revelariam as porcentagens máximas de aplicação em cada método e a eficácia dos mesmos no tratamento, solidificação e estabilização do resíduo. Logo, apesar de uma ordem de interesse entre as três alternativas estudadas poder ser estabelecida com domínio somente após o resultado dos testes, o presente estudo estabeleceu uma ordem de interesse preliminar baseada em alguns fatores que podem ser considerados apesar de ainda não ser conhecida a performance da aplicação do lodo em cada alternativa.

Do ponto de vista ambiental, entre as três alternativas estudadas, a mais interessante é a aplicação em áreas cultiváveis, pois em caso de sucesso dos ensaios, há a alternativa de se

aplicar o lodo sem que o mesmo passe por tratamento térmico, o que reduz o impacto ambiental do processo, além de alimentar a economia circular (LETT, 2014).

Porém, quando se considera os interesses da empresa geradora do resíduo, a decisão do melhor meio para destinação do mesmo deve englobar alguns outros fatores. Esses fatores são, por exemplo, a distância necessária a se percorrer para destinar o lodo em tais alternativas, a possibilidade de se destinar o lodo em escala comercial, o retorno financeiro e qualitativo dessa aplicação, tanto para a parte que destina o lodo quanto para a parte que o recebe.

Sendo assim, o método que apresenta um maior potencial de tratamento do lodo em escala comercial é a aplicação em materiais cerâmicos, com destaque para os blocos cerâmicos, que são os de maior abrangência e os mais estudados nesse campo. Por fim, resta a aplicação em materiais cimentícios, que tende a se mostrar como a alternativa menos interessante devido ao histórico apresentado de dificuldade em se estabelecer um comportamento da cinza de lodo – se mais próximo de uma pozolana ou de um filler - e também devido às baixas porcentagens de substituição das matérias-primas pelo lodo, ficando em torno de 10% quando a aplicação em materiais cerâmicos chega em torno de 20%.

Para todos os métodos alternativos de destinação do resíduo, deve-se ter sempre em mente que o tratamento ao qual o lodo será submetido tem fundamental importância na viabilidade e sustentabilidade de tal método. Dessa forma, estudos envolvendo métodos energeticamente e ambientalmente eficientes se mostram essenciais para o estabelecimento de uma cadeia sólida de tratamento de resíduos.

Por fim, servindo-se das informações obtidas através dos testes, é possível analisar a atratividade financeira de cada uma das alternativas de destinação do lodo. Como atratividade financeira entende-se não somente a redução de despesas por parte do gerador do resíduo com o novo método de destinação do lodo que poderá ser implementado, mas também no retorno financeiro que tal substituição da matéria-prima pelo lodo trará para a organização que receber esse resíduo.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: [s.n], 2015. 91p.

ALMEIDA, Francieli Aparecida de. **Destinação de resíduos industriais e pós-consumo: a contribuição das centrais de triagem cooperativadas**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2014.

ANDERSON, M.; SKERRATT, R. G. Variability study of incinerated sewage sludge ash in relation to future use in ceramic brick manufacture. **British Ceramic Transactions**, v. 102, n. 3, p. 109–113, 2003.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1. ed. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 257p.

ARAÚJO, F. F. DE et al. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, Campina Grande, p. 507–511, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004/2004** - Resíduos sólidos - Classificação. Biotemas, v. 18, n. 2, p. 7–18, 2004.

BENATTI, C. Evaluation of solidification / stabilization process in the treatment of textile wastes: production of ceramic blocks. **Cerâmica**, v. 55, n. 336, São Paulo, December 2009.

BENLALLA, A. et al. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, v. 118, p. 171–177, 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato-2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso: 23 junho. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n375**, 2006 – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 25. mai. 2017.

BRATINA, B. et al. From municipal/industrial wastewater sludge and FOG to fertilizer: A proposal for economic sustainable sludge management. **Journal of Environmental Management**, v. 183, [s.l.], p. 1009–1025, 2016.

CASE, S. D. C. et al. Farmer perceptions and use of organic waste products as fertilisers – A survey study of potential benefits and barriers. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 84–95, 2017.

CASTRO, A. L. F. G.; Silva, O. R.; Scalize, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009.

CHRISTOFOLETTI, C. A. **Avaliação da toxicidade de resíduos industriais e urbanos aplicados na agricultura**. 2013. 199 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

COLETTI, C. et al. Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties. **Construction and Building Materials**, v. 124, p. 219–227, 2016.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Embrapa**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1209–1219, 2008.

FROEHLICH, C.; BITENCOURT, C. C. Sustentabilidade Empresarial: Um Estudo De Caso Na Empresa Artecola. **GeAS – Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 5, p. 55–71, 2016.

GALATTO, S. L. et al. Incorporation of acid drainage treatment sludge waste into red ceramic products. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 333, 2009.

GODOY, L. C. DE. a Logística Na Destinação Do Lodo De Esgoto. **Revista Científica Online Tecnologia, Gestão e Humanismo**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 79–90, 2013.

HEREK, L. C. S. et al. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, p. 326–331, 2009.

HOPPEN, C. et al. the Use of Centrifuged Sludge From a Water Treatment Plant (WTP) in Portland Cement Concrete Matrices for Reducing the Environmental Impact. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 79–84, 2006.

HSU, A. et al. 2016 Environmental Performance Index. **Yale Center for Environmental Law & Policy**, New Haven, p. 123, 2016.

INGUNZA, M. P. D.; DUARTE, A. C. L., NASCIMENTO, R. M. Use of Sewage Sludge as Raw Material in the Manufacture of Soft-Mud Bricks. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, p. 31–33, 2011.

INGUNZA, M. P. D.; PEREIRA, K. L. DE A.; DOS SANTOS JUNIOR, O. F. Use of sludge ash as a stabilizing additive in soil-cement mixtures for use in road pavements. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 7, 2015.

ISTUQUE, Danilo Bordan; MELGES, José Luiz Pinheiro; MORAES, João Cláudio Bassan de; TASHIMA, Mauro Mitsuuchi; AKASAKI, Jorge Luís. Resumo (1a fase): **Investigação sobre a cinza de lodo de esgoto como adição mineral em matrizes cimentantes**. XVII Congresso de Iniciação Científica da Unesp., São Paulo: Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPe), 2015 p. 1 - 1

LETT, L. A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 46, n. 1, p. 1–2, 2014.

LYNN, C. J.; DHIR, R. K.; GHATAORA, G. S. Sewage sludge ash characteristics and potential for use in bricks, tiles and glass ceramics. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 1, p. 17–29, 2016.

MARCHI, C. M. D. F. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, João Pessoa, v. 1, n. 2, 2011.

MARTINEZ, J.G. (2014). **Avaliação de desempenho de Misturas Betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-243/2014, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 97 p.

MAY, P.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia Do Meio Ambiente**. 2. ed. [s.l.] Elsevier Brasil, 2010.

ONU. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 15 set. 2017.

PAVLÍK, Z. et al. Energy-efficient thermal treatment of sewage sludge for its application in blended cements. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 409–419, 2016.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Efeitos da disposição de lodo de ETE de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2v. 22, n.3, p.531-538, 2017.

PEREIRA, J. A. **Geração de resíduos industriais e controle ambiental**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará, 2002.

PERON, A. B. **Encapsulamento do cromo proveniente do lodo de curtume, em matrizes de cimento, visando a resistência mecânica à compressão e os limites de lixiviação e solubilização**. 2008. 102 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências de Bauru, 2008.

POLZER, V. O desafio das cidades: aterro sanitário x incinerador com geração de energia (wte). **Geo Temas**, v. 3, n. 2(3), p. 3–19, 2013.

SANTOS, A. D. DOS. Estudo Das Possibilidades De Reciclagem Dos Resíduos De Tratamento De Esgoto Da Região Metropolitana De São Paulo. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, p. 262, 2003.

SILVA, D. F. **Estudo da adição do lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos cerâmica vermelha**. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – UNIVILLE, Joinville, 2010.

SILVA, Y. et al. Concretos autocompactantes a partir de lodo calcáreo de la industria papelera. **Revista de la Construcción**, v. 12, n. 2, p. 166–176, 2013.

SMOL, M. et al. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 95, p. 45–54, 2015.

TAFAREL, N. F. et al. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 974–986, 2016.

VIEIRA, C. M. F. et al. Clay bricks added with effluent sludge from paper industry: Technical, economical and environmental benefits. **Applied Clay Science**, v. 132–133, p. 753–759, 2016.

VIEIRA, G. D.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Soil Properties, Dry Matter of Maize after Application of Anaerobic Sludge from the Sewage Treatment Station of Rice Parboiling Waste Water. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, v. 35, n. 2, p. 535–542, 2011.

ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO - 2016

Tabela 1 – Parâmetros de Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
líquidos Livres	-	-	ausentes	-
Óleos e Graxas	% p/p	0,13	< 0,13	-
pH (Suspensão 1:1)	-	2 a 13	6,69	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/Kg	2,7	< 2,7	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	%p/p	0,05	37,2	-
Cianeto (como HCN)	mg/Kg	0,1	0,1	250 (c)

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 2 – Parâmetros Inorgânicos do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	0,0942	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,0322	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	< 0,1	150
Mercúrio	mg/L	7,5E-05	< 0,00008	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 3 – Parâmetros de preparação do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Tempo de Lixiviação	horas	---	18	16 - 20
Solução de Extração	-	---	1	-
pH Final do Lixiviado	-	---	5,3	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 4 – Parâmetros orgânicos do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,00005	< 0,00005	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,0001	< 0,0001	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0001	< 0,0001	20,0
2,4-D	mg/L	0,00005	< 0,00005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,003
Benzeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,2
Endrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,00005	< 0,00005	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,0001	< 0,0001	200
Metoxicloro	mg/L	0,00003	< 0,00003	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,00005	< 0,00005	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,9
Piridina	mg/L	2,5	< 2,5	5,0
Tetracloreto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,2
Metiletilcetona	mg/L	2,5	< 2,5	200

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 5 – Parâmetros de preparação do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Tempo de Lixiviação	horas	---	18	16 - 20
Solução de Extração	-	---	1	-
pH Final do Lixiviado	-	---	5,3	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 6 – Parâmetros inorgânicos do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Alumínio	mg/L	0,1	0,102	0,2
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,0188	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	< 0,05	0,07
Cloreto	mg/L	1	< 1	250
Cobre	mg/L	0,005	< 0,005	2,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,01	0,667	0,3
Fluoreto	mg/L	0,1	< 0,1	1,5
Índice de Fenóis	mg/L	0,01	0,010	0,01
Manganês	mg/L	0,01	0,0219	0,1
Mercúrio	mg/L	7,5E-05	< 0,00008	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	0,2	< 0,2	10,0
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	41,5	200
Sulfato	mg/L	1	< 1	250
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,1	0,47	0,5
Zinco	mg/L	0,01	0,0183	5,0

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 7 – Parâmetros orgânicos do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
2,4,5-T	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,03
2,4-D	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,03
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,00003
Clordano	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,0002
DDT (isômeros)	mg/L	0,00001	< 0,00001	0,002
Endrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,0006
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,001
Metoxicloro	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,02
Toxafeno	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,00003
Lindano (g-BHC)	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,002

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 8 – Parâmetros de preparação do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH Final do Solubilizado	-	0-14	6,4	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 9 – Controle de qualidade: Mercúrio-água (I) – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Mercúrio	µg/L	0,05	< 0,05

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 10 - Controle de qualidade: Mercúrio-água (I) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Mercúrio	1	µg/L	117	80-120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 11 - Controle de qualidade: Mercúrio-água (II) – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Mercúrio	µg/L	0,05	< 0,05

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 12 - Controle de qualidade: Mercúrio-água (II) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Mercúrio	1	µg/L	118	80-120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 13 - Controle de qualidade: VOC-água – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
1,1-Dicloroeteno	µg/L	1	< 1
1,2-Dicloroetano	µg/L	1	< 1
1,4-Diclorobenzeno	µg/L	1	< 1
Benzeno	µg/L	1	< 1
Cloreto de Vinila	µg/L	1	< 1
Clorobenzeno	µg/L	1	< 1
Clorofórmio	µg/L	1	< 1
Hexaclorobutadieno	µg/L	1	< 1
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	1	< 1
Tetracloroetano	µg/L	1	< 1
Tricloroetano	µg/L	1	< 1

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 14 - Controle de qualidade: VOC-água – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
1,1-Dicloroeteno	20	µg/L	90	70 - 130
Benzeno	20	µg/L	100	70 - 130
Tricloroeteno	20	µg/L	105	70 - 130
Tolueno	20	µg/L	110	70 - 130
Clorobenzeno	20	µg/L	100	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 15 - Recuperação dos Surrogates: VOC-água – Branco de análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
dibromofluorometano	20	%	118	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	103	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 16 - Recuperação dos Surrogates: VOC-água – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	103	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	95,2	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 17 - Recuperação dos Surrogates: Extrato lixiviado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	103	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	103	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 18 – Controle de qualidade: Metais totais-água (I) – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Prata	µg/L	10	< 10
Alumínio	µg/L	10	< 10
Arsênio	µg/L	10	< 10
Bário	µg/L	10	< 10
Cádmio	µg/L	1	< 1
Cromo	µg/L	10	< 10
Cobre	µg/L	5	< 5
Ferro	µg/L	10	< 10
Sódio	µg/L	500	< 500
Selênio	µg/L	8	< 8
Zinco	µg/L	10	< 10
Manganês	µg/L	10	< 10

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 19 – Controle de qualidade: Metais totais-água (I) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Arsênio	0,1	mg/L	101	80 - 120
Cromo	0,1	mg/L	103	80 - 120
Cobalto	0,1	mg/L	109	80 - 120
Lítio	0,1	mg/L	102	80 - 120
Manganês	0,1	mg/L	102	80 - 120
Estrôncio	0,1	mg/L	106	80 - 120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 20 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Branco de análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	112	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 21 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	105	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 22 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Extrato solubilizado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	91,1	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 23 – Controle de qualidade: Metais totais-água (II) – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Prata	µg/L	10	< 10
Alumínio	µg/L	10	< 10
Arsênio	µg/L	10	< 10
Bário	µg/L	10	< 10
Cádmio	µg/L	1	< 1
Cromo	µg/L	10	< 10
Cobre	µg/L	5	< 5
Ferro	µg/L	10	< 10
Sódio	µg/L	500	< 500
Selênio	µg/L	8	< 8
Zinco	µg/L	10	< 10
Manganês	µg/L	10	< 10

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 24 – Controle de qualidade: Metais totais-água (II) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Arsênio	0,1	mg/L	98	80 - 120
Cromo	0,1	mg/L	108	80 - 120
Cobalto	0,1	mg/L	96	80 - 120
Lítio	0,1	mg/L	105	80 - 120
Manganês	0,1	mg/L	113	80 - 120
Estrôncio	0,1	mg/L	107	80 - 120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 25 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (II) – Branco de análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	108	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 26 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (II) – Amostra controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	109	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 27 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (II) – Extrato Lixiviado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	100	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Quadro 1 - Identificação dos métodos utilizados nas análises

Parâmetro	Método
Surfactantes	SMEWW 5540 C
Metais (ICP-OES)	Determinação: SMWW 3120 B / Preparo: EPA 3010A:1992
Lixiação	POP PA 062 / ABNT NBR 10005/2004
Líquidos Livres	NBR 12988
Cianeto (CFA)	ISO 14403:2012
SVOC	USEPA 8270D e 3510C, SMEWW 6410B
Cianetos	POP PA 060 / SMEWW 4500 CN F, EPA 9010 C, EPA 9013
Fluoreto	SMWW 4500 F - D
Sólidos Totais	POP PA 058 Rev.02
Mercurio	EPA 245.7:2005
VOC Água	USEPA 8260C, 5021A
Oleos e Graxas (Solos)	POP PA 064
Solubilização	POP PA 053 / ABNT NBR 10006:2004
Toxafeno	POP PA 093 / USEPA 505
pH	POP PA 056 / USEPA 9045 D
Sulfeto	POP PA 065 / USEPA 9030, 9034
Índice de Fenóis	ISO 14402:1999
Ânions	EPA 300.0:1993; 300.1:1999 e POP PA 032 - Rev.08

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

ANEXO B – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO - 2014

Tabela 1 – Parâmetros de Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH (Suspensão 1:1)	-	0 - 14	7,4	2,0 - 12,5 (b)
Sulfeto (como H ₂ S)	mg/Kg	3	77	500 (c)
Porcentagem de Sólidos	% p/p	0,05	28,5	-
Cianeto (como HCN)	mg/Kg	0,3	0,7	250 (c)

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 2 – Parâmetros de preparação do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16 - 20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	5,1	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 3 – Parâmetros inorgânicos do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	1,0
Bário	mg/L	0,01	< 0,071	70,0
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,017	1,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Fluoreto	mg/L	0,1	0,1	150
Mercurio	mg/L	0,000075	< 0,00007	0,1
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	5,0
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	1,0

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 4 – Parâmetros orgânicos de Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	7,5
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	1,0
2,4,5-Triclorofenol	mg/L	0,001	< 0,0005	400
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	20,0
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	3,0
2,4-Dinitrotolueno	mg/L	0,00003	< 0,00003	0,13
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Benzeno	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,07
Clordano (isômeros)	mg/L	0,0001	< 0,001	0,02
Cloreto de Vinila	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Clorobenzeno	mg/L	0,001	< 0,001	100
Clorofórmio	mg/L	0,001	< 0,001	6,0
DDT (isômeros)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,2
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,06
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,001	< 0,001	0,5
Hexacloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	3,0
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	mg/L	0,002	0,01961	200
Metoxicloro	mg/L	0,0005	< 0,0005	2,0
Nitrobenzeno	mg/L	0,0002	< 0,0002	2,0
2-Metilfenol (o-Cresol)	mg/L	0,001	< 0,001	200
Pentaclorofenol	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,9
Prídina	mg/L	2,5	< 2,5	5,0
Tetracloroeto de Carbono	mg/L	0,001	< 0,001	0,2
Tetracloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	4,0
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,5
Tricloroetano	mg/L	0,001	< 0,001	7,0
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	0,00005	< 0,00005	0,2
Metiletilcetona	mg/L	2,5	< 2,5	200

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 5 – Parâmetros de preparação do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Tempo de Lixiviação	horas	-	18	16 - 20
Solução de Extração	-	-	1	-
pH Final do Lixiviado	-	-	5,1	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 6 – Parâmetros do extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Cloreto	mg/L	5	< 5	250
Fluoreto	mg/L	0,5	< 0,5	1,5
Nitrato (como N)	mg/L	1	< 1	10,0
Sulfato	mg/L	5	< 5	250

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 7 – Parâmetros inorgânicos do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
Alumínio	mg/L	0,01	0,217	< 0,01
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Bário	mg/L	0,01	0,012	0,7
Cádmio	mg/L	0,001	< 0,001	0,005
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	mg/L	0,05	< 0,05	0,07
Cobre	mg/L	0,005	< 0,005	2,0
Cromo	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Ferro	mg/L	0,01	1,6	0,3
Índice de Fenóis	mg/L	0,01	0,01	0,01
Manganês	mg/L	0,01	0,050	0,1
Mercurio	mg/L	7,5E-05	< 0,00007	0,001
Prata	mg/L	0,01	< 0,01	0,05
Selênio	mg/L	0,008	< 0,008	0,01
Sódio	mg/L	0,5	144	200
Surfactantes (como LAS)	mg/L	0,2	0,30	0,5
Zinco	mg/L	0,01	< 0,01	5,0

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 8 – Parâmetros orgânicos do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
2,4,5-T	mg/L	0,001	< 0,001	0,002
2,4,5-TP	mg/L	0,001	< 0,001	0,03
2,4-D	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,03
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,0003	< 0,0003	0,00003
Clordano (isômeros)	mg/L	0,001	< 0,001	0,0002
DDT (isômeros)	mg/L	0,005	< 0,005	0,002
Endrin	mg/L	0,001	< 0,001	0,0006
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,005	< 0,005	0,001
Metoxicloro	mg/L	0,005	< 0,005	0,02
Toxafeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,005
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,00003
Lindano (g-BHC)	mg/L	0,0005	< 0,0005	0,002

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 9 – Parâmetros de preparação do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos	VMP - NBR 10004:2004
pH Final do Solubilizado	-	0-14	7,6	-

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 10 - Controle de qualidade: Metais totais-água (I) – Branco de análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Prata	µg/L	10	< 10
Alumínio	µg/L	10	< 10
Arsênio	µg/L	10	< 10
Bário	µg/L	10	< 10
Cádmio	µg/L	1	< 1
Cromo	µg/L	10	< 10
Cobre	µg/L	5	< 5
Ferro	µg/L	10	< 10
Sódio	µg/L	500	< 500
Selênio	µg/L	8	< 8
Zinco	µg/L	10	< 10
Manganês	µg/L	10	< 10

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 11 - Controle de qualidade: Metais totais-água (I) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Arsênio	0,1	mg/L	98	80 - 120
Cromo	0,1	mg/L	109	80 - 120
Cobalto	0,1	mg/L	107	80 - 120
Lítio	0,1	mg/L	100	80 - 120
Manganês	0,1	mg/L	112	80 - 120
Estrôncio	0,1	mg/L	116	80 - 120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 12 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Branco de análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	102	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 13 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Ítrio (Metais Totais)	100	%	106	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 14 – Recuperação dos Surrogates: Metais totais-água (I) – Extrato Lixiviado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Ítrio (Metais Totais)	100	%	107	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 15 – Controle de Qualidade: Metais totais-água (II) – Branco de Análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Prata	µg/L	10	< 10
Alumínio	µg/L	10	< 10
Arsênio	µg/L	10	< 10
Bário	µg/L	10	< 10
Cádmio	µg/L	1	< 1
Cromo	µg/L	10	< 10
Cobre	µg/L	5	< 5
Ferro	µg/L	10	< 10
Sódio	µg/L	500	< 500
Selênio	µg/L	8	< 8
Zinco	µg/L	10	< 10
Manganês	µg/L	10	< 10

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 16 – Controle de Qualidade: Metais totais-água (II) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Arsênio	0,1	mg/L	110	80 - 120
Cromo	0,1	mg/L	112	80 - 120
Cobalto	0,1	mg/L	111	80 - 120
Lítio	0,1	mg/L	103	80 - 120
Manganês	0,1	mg/L	114	80 - 120
Estrôncio	0,1	mg/L	119	80 - 120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 17 – Recuperação de Surrogates: Metais totais-água (II) – Branco de Análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	109	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 18 – Recuperação de Surrogates: Metais totais-água (II) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	111	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 19 – Recuperação de Surrogates: Metais totais-água (II) – Extrato Solubilizado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Itrio (Metais Totais)	100	%	105	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 20 – Controle de Qualidade: Mercúrio-água (I) – Branco de Análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Mercúrio	µg/L	0,05	< 0,05

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 21 – Controle de Qualidade: Mercúrio-água (I) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Mercúrio	1	µg/L	101	80-120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 22 – Controle de Qualidade: Mercúrio-água (II) – Branco de Análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
Mercúrio	µg/L	0,05	< 0,05

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 23 – Controle de Qualidade: Mercúrio-água (II) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Mercúrio	1	µg/L	96	80-120

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 24 – Controle de Qualidade: VOC-água (I) – Branco de Análise

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultados analíticos
1,1-Dicloroetano	µg/L	1	< 1
1,2-Dicloroetano	µg/L	1	< 1
1,4-Diclorobenzeno	µg/L	1	< 1
Benzeno	µg/L	1	< 1
Cloro de Vinila	µg/L	1	< 1
Clorobenzeno	µg/L	1	< 1
Clorofórmio	µg/L	1	< 1
Hexaclorobutadieno	µg/L	1	< 1
Tetracloro de Carbono	µg/L	1	< 1
Tetracloroetano	µg/L	1	< 1
Tricloroetano	µg/L	1	< 1

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 25 – Controle de Qualidade: VOC-água (I) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
1,1-Dicloroetano	20	µg/L	115	70 - 130
Benzeno	20	µg/L	90	70 - 130
Tricloroetano	20	µg/L	95	70 - 130
Tolueno	20	µg/L	85	70 - 130
Clorobenzeno	20	µg/L	95	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 26 – Recuperação de Surrogates: VOC-água (I) – Branco de Análise

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
dibromofluorometano	20	%	99	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	76	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 27 – Recuperação de Surrogates: VOC-água (I) – Amostra Controle

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	100	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	77	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 28 – Recuperação de Surrogates: VOC-água (I) – Extrato Lixiviado

Parâmetros	Quantidade Adicionada	Unidade	Resultado da Recuperação (%)	Faixa Aceitável de Recuperação (%)
Dibromofluorometano	20	%	106	70 - 130
p-Bromofluorbenzeno	20	%	80	70 - 130

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Quadro 1 - Identificação dos métodos utilizados nas análises

Parâmetro	Método
Índice de Fenóis	ISO 14402:1999
Sólidos Totais	POP PA 058 Rev.02
Cianeto (CFA)	ISO 14403:2012
Mercurio	EPA 245,7:2005
pH	POP PA 056 / USEPA 9045 D
Ânions	EPA 300,0:1993;300,1:1999 e POP PA 032 - Rev.08
Surfactantes	SMEWW 5540 C
Metais (ICP-OES)	Determinação: SMWW 3120 B/Preparo: EPA3010A:1992
Cianetos	POP PA 060 / SMEW W 4500 CN F, EPA 9010 C, EPA 9013
Lixiação	POP PA 062 / ABNT NBR 10005/2004
VOC Água	USEPA 8260C, 5021A
VOC 2 - Lixiviado	POP PA 074 / USEPA 8260C, 5021A
Solubilização	POP PA 053 / ABNT NBR 10006:2004
Sulfeto	POP PA 065 / USEPA 9030, 9034
SVOC	USEPA 8270D e 3510C, SMEW W 6410B
Toxafeno	POP PA 093 / USEPA 505
Fluoreto	SMW W 4500 F - D

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Algumas notas e observações:

Massa Bruta:

(b) = Avaliação da Corrosividade – Item “a” do tópico 4.2.1.2 da NBR 10004:2004

(c) = Avaliação da Reatividade – Item “e” do tópico 4.2.1.3 da NBR 10004:2004

LQ*:

LQ = Limite de Quantificação da amostra ($LQ = LQM \times \text{fator de preparo da amostra} \times \text{correção base seca, quando aplicável}$);

LQM = Limite de Quantificação do Método.

VMP**:

Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004.

ANEXO C – CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO – 2010/2011

Tabela 1 – Parâmetros de Massa Bruta

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	Data
pH (1:1)	-	0,1	7,4	22/10/2010
Painter Filter Test	-	#	Aprovado	22/10/2010
Aspecto	-	#	Sólido em grumos de cor marrom	22/10/2010
Densidade	g/cm3	#	0,63	22/10/2010
Sólidos Totais	%	0,1	13,04	22/10/2010
Inflamabilidade	-	#	Não apresenta	22/10/2010
Óleos e Graxas Totais	%	0,1	11,7	22/10/2010
Reatividade	-	#	Não apresenta	22/10/2010

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 2 – Parâmetros inorgânicos do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	NBR 10004 Lixiviado	Data	M	I
Arsênio	mg/l	0,004	< LQ	1	09/11/2010	65	...
Cádmio	mg/l	0,001	< LQ	0,5	10/11/2010	65	...
Chumbo	mg/l	0,005	0,018	1	10/11/2010	65	...
Mercúrio	mg/l	0,0002	0,001	0,1	08/11/2010	16	...
Prata	mg/l	0,002	< LQ	5	10/11/2010	65	...
Selênio	mg/l	0,001	< LQ	1	09/11/2010	3	...
Bário	mg/l	0,008	0,111	70	11/11/2010	65	...
Cromo Total	mg/l	0,006	< LQ	5	10/11/2010	65	...
Fluoreto	mg/l	0,63	< LQ	150	12/11/2010	42	...

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 3 – Parâmetros de preparação do Extrato Lixiviado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	NBR 10004 Lixiviado	Data	M	I
pH inicial	-	0,1	4,74	-	25/10/2010	54	...
pH final	-	0,1	4,63	-	26/10/2010	54	...
Massa Utilizada	g	0,01	100	-	27/10/2010	54	...
Solução de extração	-	#	1	-	28/10/2010	54	...
Tempo de Lixiviação	h	#	18	-	29/10/2010	54	...

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 4 – Parâmetros Inorgânicos do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	NBR 10004 Solubilizado	Data	M	I
Solubilidade	%	#	0,298	-	10/11/2010	31	...
Alumínio	mg/l	0,03	< LQ	0,2	11/11/2010	65	...
Ausênio	mg/l	0,004	< LQ	0,01	09/11/2010	65	...
Cádmio	mg/l	0,001	< LQ	0,005	10/11/2010	65	...
Chumbo	mg/l	0,005	< LQ	0,01	10/11/2010	65	...
Cianeto Total	mg/l	0,035	< LQ	0,07	22/11/2010	5	...
Cloreto	mg/L	0,005	8,75	250	20/11/2010	105	...
Cobre	mg/l	0,01	< LQ	2	10/11/2010	65	...
Cromo Total	mg/l	0,006	< LQ	0,05	10/11/2010	65	...
Bário	mg/l	0,08	1,12	0,7	11/11/2010	65	...
Fenóis	mg/l	0,008	0,07	0,01	08/11/2010	44	A
Ferro	mg/l	0,04	0,735	0,3	10/11/2010	65	...
Floreto	mg/L F ⁻	0,01	< LQ	1,5	20/11/2010	105	...
Manganês Total	mg/l	0,002	0,01	0,1	10/11/2010	3	...
Mercúrio	mg/l	0,0002	0,001	0,001	08/11/2010	16	...
Nitrato (Como II)	mg/l	0,4	3,9	10	20/11/2010	17	A
Prata	mg/l	0,002	< LQ	0,05	10/11/2010	65	...
Selênio	mg/l	0,001	< LQ	0,01	09/11/2010	3	...
Sódio	mg/l	13,6	455	200	11/11/2010	65	...
Sulfato	mg/l	5,7	10	250	20/11/2010	24	A
Surfactantes	mg/l	0,01	1,77	0,5	05/11/2010	79	A
Zinco	mg/l	0,001	0,015	5	10/11/2010	65	...

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 5 – Parâmetros de preparação do Extrato Solubilizado

Parâmetros	Unidade	LQ	Resultado	NBR 10004 Solubilizado	Data	M	I
Massa Utilizada (Preparação)	g	0,01	1917,18	-	08/11/2010	55	...
pH Inicial (Preparação)	-	0,1	7,13	-	08/11/2010	55	...
pH Final (Preparação)	-	0,1	7,56	-	08/11/2010	55	...

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Tabela 7 – Parâmetros de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)

Parâmetro	Unidade	LQ	Resultado	Data	M	I
1,1-Dicloroetano	µg/kg	0,02	< LQ	07/02/2011	4	...
Cloreto de Metileno	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Trans-1,2-Dicloroetano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
1,1-Dicloroetano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Cis-1,2-Dicloroetano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Bromoclorometano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Clorofôrmio	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
1,1,1-Tricloroetano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
1,2-Dicloroetano	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
1,1-Dicloropropeno	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Benzeno	µg/kg	0,02	< LQ	07/02/2011	4	...
Tetracloroeto de Carbono	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Tricloroetileno	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
1,2-Dicloropropano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Dibromometano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Bromodiclorometano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Cis-1,3-Dicloropropeno	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Tolueno	µg/kg	0,02	< LQ	07/02/2011	4	...
1,1,2-Tricloroetano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
1,3-Dicloropropano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Dibromoclorometano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Tetracloroetano	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Clorobenzeno	µg/kg	0,4	< LQ	07/02/2011	4	...
Etilbenzeno	µg/kg	0,02	< LQ	07/02/2011	4	...
m-Xileno	µg/kg	0,005	< LQ	07/02/2011	4	...
p-Xileno	µg/kg	0,005	< LQ	07/02/2011	4	...
Estireno	µg/kg	0,01	< LQ	07/02/2011	4	...
o-Xileno	µg/kg	0,005	< LQ	07/02/2011	4	...
Bromofôrmio	µg/kg	0,04	< LQ	07/02/2011	4	...
Cloreto de Vinila	µg/kg	0,008	< LQ	07/02/2011	4	...
Dicloroetano Total	µg/kg	0,06	< LQ	40581	4	...
Xilenos	µg/kg	0,0015	< LQ	40581	4	...
Tolueno-d8 (Recuperação)	%	#	82	40581	4	...

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)

Quadro 1 – Legenda das metodologias utilizadas nas análises realizadas em 2010

M	Método
3	Standard Methods 21th Ed. 3111 B
5	Standard Methods 21th Ed. 4500 CN E
16	Standard Methods 21th Ed. 3112 B
17	Standard Methods 21th Ed. 4500 NO-3 E
20	Standard Methods 21th Ed. 5520 D
22	Standard Methods 21th Ed. 4500 - H+
24	Standard Methods 21th Ed. 54500 - SO4-2 E
31	Standard Methods 21th Ed. 2540 B
42	Standard Methods 21th Ed. 4500 - F D
44	Standard Methods 21th Ed. 5530 C
54	ABNT NBR 10005 - Lixiviação de Resíduos
55	ABNT NBR 10006 - Solubilização de Resíduos
57	ABNT NBR 12988 - Líquidos Livres - Verificação em Resíduos
65	Standard Methods 21th Ed. 3111
66	Método Visual
79	ABNT NBR 10738 - Água - Determinação de surfactantes aniônicos pelo método espectrofotométrico do azul de metileno
84	ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos - Classificação
85	Método SARPI - PE-008 Densidade Aparente
105	EPA Method 300 - Julho/2000

Fonte: Documentação fornecida pela Empresa X (2017)