

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

FERNANDA PASINI DOS SANTOS

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM ARGAMASSA

**Caçapava do Sul
2016**

FERNANDA PASINI DOS SANTOS

ESTUDO DA INCOPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM ARGAMASSA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Msc. Mateus Guimarães da Silva

**Caçapava do Sul
2016**

FERNANDA PASINI DOS SANTOS

ESTUDO DA INCOPORAÇÃO DO LODO DE ETA EM ARGAMASSA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de 2016

Banca examinadora:

Prof. Msc. Mateus Guimarães da Silva
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Msc. Mariana Ribeiro Santiago
UNIPAMPA

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos que sempre torceram e acreditaram em mim. Principalmente a minha mãe que me deu muita força e suporte durante toda a graduação.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais: Janete Pasini Schacht e Silvio Maciel dos Santos, aos meus dois irmãos: Lucas e Marcelo, a minha vó Maria de Lourdes Pasini e aos meus tios Cláudia e Jirlei Pasini, que me deram apoio durante toda a realização dessa graduação.

Ao orientador deste trabalho: Mateus Guimarães da Silva, pela paciência, conhecimento transferido, suporte e auxílio durante as etapas desse Trabalho de Conclusão do Curso.

Ao Eng. Luciano por intermediar a parceria realizada com a indústria de calcário e argamassa – FIDA. A empresa nos recebeu muito bem e aceitou participar desse projeto nos concedendo espaço para testes e pesquisas em seu laboratório.

Ao seu Jocemar, funcionário da FIDA, que me acompanhou em todos os procedimentos realizados no laboratório da fábrica, o meu sincero agradecimento.

A Companhia Riograndense de Saneamento-CORSAN pela disponibilização da matéria-prima para realização deste trabalho.

Aos amigos que formei em Caçapava do Sul: Bruna, Fernanda Nunes, Luana, Paula, Rhiana, Roberta, Ary, Gabriel, Lucas, Patrícia, Amyr e Matheus.

Ao técnico Guilherme Casanova e a Luana que me acompanharam e me orientaram durante os procedimentos realizados no laboratório de química do campus da Unipampa de Caçapava do Sul.

A minha amiga Danieli que mesmo longe sempre esteve presente em minhas conquistas e dificuldades durante todo esse tempo.

Aos professores, que tive oportunidade de ser aluna, por todo conhecimento transferido por eles.

A Universidade Federal do Pampa.

RESUMO

No processo de tratamento de água, mais precisamente na lavagem dos filtros e descarga dos decantadores, é produzido um resíduo conhecido como lodo. Este por sua vez, ainda é bastante negligenciado por não estar tão aparente no âmbito social e cotidiano da população. Na maioria dos casos, esse lodo tem sua disposição final inadequada sendo depositado em corpos hídricos ou em terrenos baldios, ocasionando a poluição destes locais. Em Caçapava do Sul, o lodo gerado na ETA é conduzido por gravidade para uma unidade de secagem a céu e, posteriormente, é descartado em um terreno baldio, pois ainda não foi encontrada uma destinação final adequada. Como a região possui a presença de grandes empresas no setor de produção de argamassas e sabendo do potencial da utilização do lodo como agregado, efetivou-se uma parceria com essas empresas para avaliar a sua incorporação. Este trabalho teve como objetivo analisar o uso do lodo em substituição parcial e total da cal hidratada, material presente na composição da argamassa como alternativa de aproveitamento para esse resíduo e minimização dos impactos ambientais gerados por ele. A metodologia consistiu em realizar análises dos elementos químicos, matéria orgânica (M.O), pH, teor de umidade, distribuição granulométrica e massa específica real, além da confecção de corpos de provas de argamassa com dosagens de lodo nas proporções de 5, 10, 15 % em substituição a cal hidratada. Os resultados mostraram que os elementos que estão presentes em maior quantidade no lodo são o óxido de alumínio, o óxido de ferro, o óxido de silício e a matéria orgânica. A dose incorporada de 5% na argamassa mostrou-se satisfatória, apresentando uma resistência à compressão igual à amostra convencional da argamassa (4MPa), e valores muito próximos para a resistência a flexão (1,903 MPa) de 2MPa. Portanto, de acordo com o ensaio de resistência mecânica, a concentração de 5% de lodo na argamassa atingiu os níveis apropriados de resistência para poder ser utilizada.

Palavras-Chave: Aproveitamento de resíduo, impactos ambientais, disposição final.

ABSTRACT

In the water treatment process, more precisely in the washing of filters and discharge of decanters, It is produced a residue known as sludge. This in its turn, It is still largely neglected by not being so apparent in the social and daily life of the population. In most cases, this sludge has its final disposal improper, deposited in water bodies or in vacant lots, occasioning pollution of these sites. In Caçapava do Sul, the sludge generated in the WTP is driven by gravity to the open-air drying unit of Corsan, final disposal, useless after that. The city has a limestone and grout industry, which will receive the sludge from the water treatment plant (WTP) of the city, for incorporation tests in the grout. This study had as objective to analyze the use of sludge in partial replacement and the total of the hydrated lime, the material present in the composition of the mortar as an alternative use for this waste and the minimisation of environmental impacts generated by it. Methodology consisted in carrying out analyses of the chemical elements, organic matter (M. O), pH, moisture content, particle size distribution and specific gravity the actual, in addition to the creation of bodies of evidence of mortar with dosages of sludge in the proportions of 5, 10, 15% replacement for hydrated lime. The results showed that the elements that are present in higher quantities in the sludge are aluminum oxide, iron oxide, silicon oxide and organic matter. The dose built-in of 5% in the mortar proved to be satisfactory, showing a resistance to compression equal to the sample's conventional mortar (4MPa), and values very close to the resistance to bending (1,903 MPa) 2MPa. Therefore, according to the test of mechanical resistance, the concentration of 5% of the sludge in the grout reached the appropriate levels of resistance to be able to be used

Key words: The utilization of waste, environmental impacts, final disposition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostra de lodo coletada do leito de secagem.	14
Figura 2 - Leito de secagem.....	15
Figura 3 - Triplicatas com massa constante destinadas ao método gravimétrico. ..	16
Figura 4 - Aparelho utilizado na análise de fluorescência de raio X.	16
Figura 5 - Etapas da caracterização física das partículas do lodo.	17
Figura 6 - Lodo dentro do moinho de bolas.....	18
Figura 7 - Lodo sendo fragmentado no moinho.....	18
Figura 8 - Amostra após passar pela moagem.....	19
Figura 9 - Coluna de peneiras utilizada na determinação granulométrica.....	20
Figura 10 - Duplicatas da amostra analisadas na picnômetria líquida.	21
Figura 11 - Fase de preparo da argamassa com a adição de lodo na argamassadeira.....	25
Figura 12 - Corpos de provas contendo 5, 10 e 15 % de lodo respectivamente	26
Figura 13 - Prensa hidráulica elétrica utilizada nos ensaios de resistência.....	26
Figura 14- Corpos de prova após os ensaios de resistência mecânica..	27
Figura 15 - Fração das partículas retidas.....	31
Figura 16 - Fração das partículas retidas acumulada..	31
Figura 17 - Fração das partículas passantes.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Massa específica da água para temperatura de 0 a 100 graus... ..	47
Tabela 2 - Quantidade de materiais da argamassa com diferentes proporções de lodo.	24
Tabela 3 - Resultados do teor de umidade, matéria orgânica e pH	28
Tabela 4 - Análise química por fluorescência de raios X	29
Tabela 5 - Dados da análise granulométrica.....	30
Tabela 6 - Resultados do ensaio de picnômetria líquida.....	32
Tabela 7 - Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 5% de lodo	33
Tabela 8 - Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 10% de lodo.....	33
Tabela 9- Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 15 % de lodo.....	33
Tabela 10 - Valores referentes à argamassa de assentamento estrutural 4MPa sem adição de lodo para o ensaio de resistência à tração na flexão (referência).....	34
Tabela 11 - Valores referentes à argamassa contendo 5 % de lodo.....	34
Tabela 12 - Valores referentes à argamassa contendo 10 % de lodo.....	34
Tabela 13 - Valores referentes à argamassa contendo 15 % de lodo.....	35
Tabela 14 - Valores referentes à argamassa de assentamento estrutural 4MPa sem adição de lodo para o ensaio de resistência a compressão (referência).....	36
Tabela 15 - Valores referentes à argamassa contendo 5 % de lodo.....	36
Tabela 16 - Valores referentes à argamassa contendo 10% de lodo	37
Tabela 17 - Valores referentes à argamassa contendo 15% de lodo.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Art– Artigo

°C – Graus Celsius

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

CP – Corpo-de-Prova

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

h – Hora

KN – Quilonewton

Kg – Quilograma

L– Litros

Log – Logaritmo decimal

m – Metros

m³– Metros cúbicos

mg – Miligrama

ml – Mililitro.

MPa – Megapascal

mV – Milivolt.

NBR – Norma Brasileira

NTS – Norma Técnica SABESP

nº – Número

nm – Nanômetro

% – Porcentagem

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

s – Segundos

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

V – Volt

W – Watt

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	2
2.1 Objetivos Gerais	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
2.3 Justificativa	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 ETA	3
3.2 Lodo	4
3.3 Lodo gerado nos filtros.....	5
3.4 Lodo gerado nos decantadores	5
3.5 Lodo x Coagulantes	6
3.6 Aspectos legais relacionados ao descarte de lodos de ETAs	7
3.7 Aplicações do lodo	8
3.7.1 Aterro sanitário.....	8
3.7.2 Recuperação de áreas degradadas	9
3.7.3 Agricultura	9
3.7.4 Compostagem.....	9
3.7.5 Utilização na fabricação de tijolos	9
3.7.6 Incorporação na fabricação de cimento	10
3.7.7 Incorporação em argamassas	10
3.8 Argamassa	11
3.9 Propriedades das argamassas	11
3.9.1 Propriedades em estado fresco	11
3.9.2 Propriedades no estado endurecido	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 Matéria-prima.....	14
4.2 Caracterização da matéria-prima	15
4.2.1 Análise físico-química do lodo	11
4.2.2 Caracterização física das partículas do lodo.....	12
4.3 Escolha da argamassa, material substituído e definição das porcentagens de lodo ..	22
4.4 Preparo da argamassa, confecção dos corpos de prova (CPs) e ensaio de resistência mecânica.	23
4.4.1 Preparo da argamassa.....	23
4.4.1.1 Preparo da amostra com 5,10 e 15 % de lodo	23

4.4.2	Confecção dos corpos de prova	25
4.4.3	Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1	Análise físico-química do lodo	28
5.2	Caracterização física das partículas do lodo	30
5.3	Ensaio de resistência à tração na flexão.....	33
5.4	Ensaio de resistência à Compressão Axial	35
6.	CONCLUSÕES.....	38
7.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39

1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETAs) são importantes estruturas dos sistemas sanitários e tem como principal função reduzir as impurezas contidas na água tornando-a potável para o consumo humano. O processo de transformação da água bruta em potável no tratamento convencional envolve as etapas coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Em alguns desses processos são adicionados produtos químicos tais como carvão ativado para adsorção de compostos orgânicos, cal hidratada para correção do pH, polímeros e coagulantes (cloreto férrico, sulfato de alumínio, entre outros), dependendo da água bruta.

Nesse processo de tratamento da água é gerado lodo, um problema para as instituições que gerenciam tais sistemas. Na maior parte dos casos, o lodo tem sido descartado diretamente nos corpos hídricos e no solo, causando impactos ambientais nesses locais. A constante atualização da legislação ambiental e de recursos hídricos do país, a intensificação da ação fiscalizadora dos órgãos ambientais e a crescente poluição dos corpos receptores, têm ocasionado ao aumento de ETAs que incorporam o tratamento destes resíduos, ainda que, de forma incipiente. O conhecimento e discussão sobre “o que fazer com esses resíduos”, ainda é muito recente, permanecendo, de certa maneira, o desafio inicial de se conhecer melhor as características dos resíduos de ETAs e das alternativas de manejo, tratamento e disposição final.

Em Caçapava do Sul, o lodo gerado na ETA é conduzido por gravidade para a unidade de secagem a céu aberto e, posteriormente, é descartado em um terreno baldio porque ainda foi encontrado um destino final adequado.

A incorporação do lodo em argamassa, produto fabricado por muitas empresas da região de Caçapava do Sul, pode ser uma solução para disposição e diminuição dos resíduos gerados nas ETAs. O seu aproveitamento pode ser realizada através da substituição parcial de uns dos principais constituintes da argamassa que são cimento, areia e cal hidratada.

Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo analisar o uso de diferentes concentrações de lodo de ETA, em substituição parcial e total das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação da argamassa, com o propósito de encontrar uma aplicabilidade para esse resíduo.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho tem o propósito de investigar uma alternativa de aproveitamento do lodo gerado na estação de tratamento de água (ETA) de Caçapava do Sul em agregados da construção civil, possibilitando, desta forma, utilidades para esse resíduo.

2.2 Objetivos Específicos

Especificamente, a fim de se obter os resultados propostos, pretende-se:

- a) Realizar a caracterização química e granulométrica do lodo da ETA de Caçapava do Sul.
- b) Avaliar a utilidade do lodo no processo de produção de argamassas.
- c) Avaliar as propriedades de resistência mecânica da argamassa, após a adição de diferentes concentrações de lodo.

2.3 Justificativa

A principal justificativa do desenvolvimento deste trabalho é a necessidade de analisar e propor um aproveitamento para o resíduo (lodo) gerado na ETA do município de Caçapava do Sul, pois ainda não foi encontrada uma destinação final apropriada após a sua secagem.

Escolheu-se essa temática devido à presença de indústrias de argamassas na região e pela inexistência de estudos desta natureza com o lodo da ETA de Caçapava do Sul.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ETA

O objetivo central de uma ETA é basicamente transformar a água bruta imprópria para o consumo humano em água potável. As estações de tratamento de água (ETAs) são responsáveis pelo tratamento e abastecimento público e precisam atingir padrões de potabilidade. De acordo com a Portaria nº 2.914, de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) toda a água destinada para o consumo humano deve ser biologicamente e quimicamente segura, além de ser esteticamente agradável. O tratamento de água proporciona significativamente o controle das doenças de veiculação hídrica (HELLER, 1997). Dessa forma, as ETAs funcionam como indústrias geradoras de água e, como em todos os processos industriais, são gerados resíduos, os quais devem ser tratados e dispostos adequadamente.

O resíduo gerado na ETA é conhecido como lodo, este por sua vez é classificado como resíduo não inerte pela norma NBR 10.004, classe II A (ABNT, 2004) e, basicamente, possui em sua composição água e sólidos suspensos. Entretanto, suas características dependem da qualidade da água bruta, deste modo, é importante caracterizá-lo de maneira que seu descarte seja o melhor ambientalmente possível.

Um sistema de tratamento convencional de água é composto de adutoras, floculadores, decantadores, filtros e reservatório. As etapas de tratamento se dividem em coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação (DI BERNARDO, 1993).

A coagulação é o processo de desestabilização das partículas coloidais que reduz as forças atrativas, permitindo que as partículas se agreguem de modo que possam formar flocos. Os principais coagulantes utilizados são sais de alumínio e ferro (METCALF; EDDY, 2003).

Conforme Di Bernardo (2003), a floculação, objetiva dar condições para que esses flocos formados se unam, tornando-se maiores. Nesse caso o gradiente de velocidade é inferior ao usado durante a coagulação.

A decantação se baseia no fenômeno de transporte da partícula para o fundo de um equipamento, onde a partícula sólida em suspensão sofre ação das forças de gravidade, empuxo e resistência ao movimento. Assim, há a separação efetiva dos flocos em tanques de decantação (BENVINDO *et al.* 2002).

A água que passa pela decantação é conduzida às unidades filtrantes onde passa pela filtração. A filtração é o processo de retenção das partículas sólidas suspensas na água e objetiva a remoção de microrganismos e demais substâncias indesejáveis que estão presentes na água (CLEASBY; LOGSDON, 1999).

A desinfecção consiste na destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. Esses organismos podem permanecer na água por várias semanas, em temperaturas próximas a 21°C e, em alguns casos, por muitos meses, em baixas temperaturas (CUBILLOS, 1981).

A fluoretação da água é o processo de aplicação de flúor, que contribui em cuidados a saúde para evitar a instalação da cárie dentária, sendo uma prevenção primária e um método de proteção específico e faz parte do sistema de prevenção oferecido a população (AMAZONAS, 2006). De acordo com a Cetesb (2013), a fluoretação deve ser efetuada sobre rigoroso controle, utilizando equipamentos adequados de dosagem e implantando-se atividades de controle residual de fluoreto na rede de abastecimento de água.

3.2 Lodo

As estações de tratamento de água transformam a água bruta, imprópria para o consumo humano em água potável. Desse processo de purificação da água, mais precisamente nos decantadores e filtros gera-se o lodo, que é classificado conforme a NBR 10.004 como um resíduo sólido.

Godbold *et al.* (2003) apud Andrade (2005) definem o lodo como todo resíduo proveniente do tratamento para gerar água potável a partir da água bruta.

O lodo de estação de tratamento de água é constituído principalmente de material orgânico e inorgânico provenientes da água bruta, tais como algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argilas, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês (GRADIN; ALÉM SOBRINHO; GARCIA JR, 1993). Silva, Bridone e Marques (2000) complementam sua composição com hidróxidos de alumínio, em quantidades elevadas, resultantes da adição de produtos químicos e alguns polímeros condicionantes utilizados no processo de tratamento. Dessa forma, as características do lodo variam tanto com a qualidade da água bruta quanto com os produtos químicos utilizados durante o processo (SARON; LEITE, 2001).

De acordo com Silva e Isaac (2002), o lodo de ETA caracteriza-se como um fluido não-newtoniano, volumoso e tixotrópico, apresentando-se em estado gel quando em repouso e relativamente líquido quando agitado.

O potencial tóxico deste resíduo varia com a quantidade de metais presentes, das características físico-químicas e das condições finais em que ele é disposto. Barroso e Cordeiro (2001) retratam alguns metais que podem estar presentes no lodo de ETA tais como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo, magnésio e principalmente alumínio. A presença desses metais possui ações tóxicas podendo influenciar nas técnicas de tratamento, disposição final e reutilização deste resíduo. Outros demais fatores que também interferem na toxicidade do lodo são a reações sofridas no processo, forma e tempo de retenção, características do manancial, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos acionados ao tratamento de água.

A concentração de sólidos totais presentes no lodo varia entre 1000 a 40.000 mg/L, conforme Richter (2001). Destes, 75% a 90% são sólidos suspensos e 20% a 35 % sólidos voláteis. A massa específica do lodo de ETA é influenciada pela quantidade de sólidos presentes nele, podendo variar entre 1,002 Kg/m³ para lodos com baixo teor de sólidos aproximadamente de 1%, até 1500 kg/m³ após o processo de desidratação (RICHTER, 2001).

3.3 Lodo gerado nos filtros

No processo de lavagem dos filtros, nos quais as vazões são elevadas e as concentrações de sólidos são baixas há a geração de lodo. O tipo de filtro, a tecnologia utilizada para a clarificação da água e o coagulante aplicado são fatores que influenciam na quantidade de produção desse lodo (DI BERNARDO, 1999).

Conforme Di Bernardo *et al.* (1999), o modo como os filtros são lavados também influencia na geração de maior ou menor volume dos resíduos. Filtros lavados apenas com água, no sentido ascensional, geram maiores quantidades de rejeitos líquidos quando comparados com sistemas que apresentam lavagem auxiliar com ar, seguida de lavagem ascensional.

3.4 Lodo gerado nos decantadores

De acordo com Cordeiro (1999), o lodo gerado nos decantadores pode apresentar características bastante variadas. Variam conforme as condições da água

bruta, dosagens e produtos químicos, modo de limpeza dos decantadores, entre outros fatores.

Os lodos oriundos dos decantadores possuem elevados teores de umidade normalmente entre 95% e se encontram na forma líquida (CORDEIRO, 1999), podendo conter altos teores de matéria orgânica (KAWAMOTO; FERREIRA FILHO, 1999).

Quando o coagulante aplicado no tratamento de água é o sulfato de alumínio o lodo apresenta em sua composição altas taxas de alumínio. Por ser um dos componentes do sulfato de alumínio comercial, o ferro também está presente no lodo.

As características desse lodo estão relacionadas com o tipo de unidade empregada e modo operacional, sendo que os decantadores convencionais não apresentam equipamento de extração de lodo, normalmente são limpos em intervalos de 1 a 4 meses, gerando resíduos mais concentrados em comparação aos decantadores de alta taxa, que são limpos mais frequentemente (SABOGAL-PAZ; DI BERNARDO, 2005).

3.5 Lodo x Coagulantes

O processo de coagulação consiste em adicionar produtos químicos a uma dispersão coloidal visando à neutralização das cargas das partículas desestabilizando-as com a redução das forças que as mantinham separadas. Trata-se de um processo amplamente utilizado na clarificação da água que apresenta partículas coloidais e sólidos suspensos (ECKENFELDER, 1989).

A princípio, a adição de coagulante no tratamento de água visa à neutralização das cargas superficiais coloidais. Logo após e imediatamente, ocorre às reações de hidrólise precipitando o coagulante. Segundo, Ferreira Filho e Waelkens (2009), os sistemas convencionais de tratamento de água utilizam como coagulantes sais inorgânicos e metálicos de alumínio e ferro.

O lodo proveniente da aplicação de sulfato de alumínio, apresenta-se como um fluido não-newtoniano, gelatinoso, do qual a fração de sólidos é composta por hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides e resíduos orgânicos tais como bactérias e, outros organismos removidos nos processos de tratamento (RICHTER, 2001).

Já o lodo provindo da adição de coagulantes férricos ao invés de sólidos compostos por hidróxido de alumínio, gera frações de sólidos de hidróxido férrico, mas

apresenta características e constituição semelhante ao de sulfato de alumínio (RICHTER, 2001).

O lodo de ETA cujo coagulante é poli (cloreto de alumínio) é o que apresenta maior potencial referente ao aproveitamento na fabricação de materiais cerâmicos, pois sua massa apresenta 20% de partículas com dimensões abaixo de 2 µm (JACOMASSI, 2009).

3.6 Aspectos legais relacionados ao descarte de lodos de ETAs

Diante dos aspectos legais vigentes, o lodo gerado pelas ETAs se enquadra como resíduo sólido, logo deve ser gerenciado de acordo com as premissas da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

De acordo com o Art.6º, inciso II a Política Nacional dos Resíduos Sólidos tem o objetivo “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. (BRASIL, 2010). No inciso V “redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos” (BRASIL, 2010). Dessa forma, o lodo como resíduo sólido deve ter sua destinação ambientalmente adequada, priorizando sua redução, reuso e reciclagem.

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, Art 2º discorre sobre “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental própria à vida, visando assegurar ao País condições de desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses de segurança nacional e de proteção da dignidade da vida humana” (BRASIL, 1981), visando assim a preservação da qualidade ambiental e proteção dos ecossistemas.

A Lei nº 9.605, conhecida principalmente como “Lei da Vida” ou dos “Crimes Ambientais”, no capítulo V “Dos Crimes contra o meio Ambiente” seção III Art 54º salienta que “ Causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoque a morte ou a destruição significativa da flora” (BRASIL,1998). No inciso V, se o crime: “ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos... Em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, a pena prevista é de reclusão de um a cinco anos”. (BRASIL, 1998). Dessa forma, os responsáveis pelos serviços de água poderão ser enquadrados nessa lei e ter de responder criminalmente pelo lançamento de lodo em corpos hídricos.

Segundo Conama (2005), no capítulo IV determina as condições e padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Para os materiais sedimentáveis, a norma decreta o limite de até 1 ml/L em período teste de 1h.

A Lei nº 12305/10 considera o reuso e a reciclagem prioridades na gestão de resíduos. Levando-se em consideração esse fato, existem ainda inúmeras ETAs no Brasil que depositam *in natura*, sem tratamento o lodo em corpos hídricos, acarretando diversos impactos ambientais (BRASIL, 2010).

3.7 Aplicações do lodo

A disposição final adequada, ambientalmente correta e viável economicamente do lodo de ETA é um dos maiores desafios do processo de tratamento da água. Sendo assim, um desafio para as companhias de abastecimento público, pois envolve o transporte e restrições do meio ambiente para a disposição final desse resíduo.

Entretanto, diversos usos benéficos para esse lodo já foram propostos, dentre eles pode-se citar sua disposição final em aterros sanitários, em processos de recuperação de áreas degradadas, na agricultura, em agregados na fabricação de cimento, incorporação em materiais cerâmicos (tijolos), inibição da formação de sulfetos, compostagem etc.

3.7.1 Aterro sanitário

No panorama atual, o destino final do lodo de ETA desidratado é geralmente em aterro sanitário. A disposição do lodo em aterros é uma alternativa segura para a saúde pública e ambiental, sendo que seu comportamento em aterro é conhecido (TARTARI, 2008).

De acordo com Cornewll *et al.* (1987) a desidratação do lodo tanto mecânica quanto natural deve ser criteriosa, visto que as condições anaeróbias e produção de ácidos voláteis (pH em 5 a 5,5) podem permitir a dissolução do alumínio e de outros metais no aterro.

Segundo, Januário e Ferreira filho (2007), em torno de R\$ 60,00 a R\$ 80,00 por tonelada de lodo desidratado são os custos médios de transporte e disposição final em aterros particulares para as ETAs. Essa alternativa torna-se muitas vezes inviável, pois as companhias de abastecimento não possuem recursos disponíveis para arcar com estes custos.

3.7.2 Recuperação de áreas degradadas

O lodo de ETA pode ser aplicado no processo de recuperação do solo, proporcionando o crescimento de plantas em áreas que sofreram com processos erosivos. Principalmente em locais em que foram realizadas atividades de mineração, nas quais é necessária a remoção do solo de superfície (CORNWELL *et al.*,2000).

3.7.3 Agricultura

Para diversos autores (CORNWELL *et al.*,2000; GODBOLD *et al.*, 2003), a disposição de lodos provenientes de ETAs no setor agrícola não apresenta impactos significativos ao crescimento das espécies vegetais. Apresentando benefícios tais como melhoria da estrutura, ajuste do pH, aumento da capacidade de retenção de umidade e aeração do solo e adição de minerais. Porém, existem alguns aspectos desfavoráveis a essa prática, dentre eles pode-se citar a tendência do ferro presente no lodo de capturar o fósforo disponível para a planta e do alumínio ocasionar problemas tóxicos a mesma, caso haja a variação do pH do solo em valores inferiores ou iguais a 6,5 (CORNWELL *et al.*,2000; GODBOLD *et al.*, 2003 apud ANDRADE, 2005).

3.7.4 Compostagem

Para compostagem, os lodos de ETA podem ser compostados juntamente com outros resíduos sólidos domésticos, restos de vegetais, biossólidos etc. Utiliza-se o sistema de leiras, o lodo promove umidade e serve de agente estruturante para as pilhas de composto. A adição desse resíduo tem se mostrado bastante positiva, promovendo o ajuste de pH do composto, fornecendo traços minerais e controlando a umidade (CORNWELL, 2006).

3.7.5 Utilização na fabricação de tijolos

O lodo de ETA apresenta características físicas e químicas muito similares com a dos materiais cerâmicos. A grande quantidade de lodo gerada nas ETAs pode diminuir a quantidade de argila utilizada no processo de fabricação de tijolos, aumentando o tempo de vida útil das jazidas naturais (CORNWELL, 2006).

De acordo com CORNWEEL *et al.* (2000), é muito importante que se conheça a umidade contida no lodo de ETA para sua incorporação no processo de obtenção dos materiais cerâmicos, geralmente prefere-se lodos que apresentem teor de sólidos de 20%.

É de considerável importância também que a composição granulométrica desse lodo esteja com características semelhantes a da argila. A presença de areia e de pó de carvão no lodo pode provocar expansões e fissuras no material cerâmico acabado devido à diferença de tamanho de suas partículas que se apresentam maiores que as da argila (ANDRADE, 2005).

3.7.6 Incorporação na fabricação de cimento

Os principais materiais utilizados para a produção de cimento são calcário, xisto e argila. O calcário corresponde de 70 a 80% de material bruto utilizado, entretanto contém baixas concentrações de ferro, sílica, alumínio. Para suprir essa deficiência são adicionados concentrações de argila, minério de ferro, xisto e bauxita (AWWA, 1999). Nesse contexto, o lodo de ETA geralmente apresenta todos esses elementos que faltam e precisam ser adicionados ao calcário, e por isso ele pode ser introduzido nos processos de pré-homogeneização das matérias-primas durante a fabricação de cimento. A quantidade de sólidos necessária para essa aplicação gira em torno de 50% (CORNWELL, 2006).

As dificuldades de utilizar esse lodo na fabricação de cimento estão relacionadas à sua característica de possuir concentrações significativas de matéria orgânica, antracito ou carvão ativado, sulfato, permanganato de potássio e metais pesados (CORNWELL, 2006).

3.7.7 Incorporação em argamassas

Polido (2010) realizou experimentos com adição do lodo de ETA da cidade de Campo Mourão (Paraná) em argamassas, e constatou a redução da resistência mecânica com o aumento da incorporação do lodo na argamassa. Os valores médios de resistência a compressão ficaram entre 2,69 MPa, 1,70 MPa e 1,38 MPa para as incorporações de 0%, 10% e 20% respectivamente.

Sales *et al.* (2002) abordaram a incorporação de lodo de ETA com restos moídos de materiais da construção civil, para a utilização em argamassa e concreto de cimento Portland. Os resultados obtidos a adição de 3% de lodo em relação aos

agregados miúdos, apresentaram uma redução insignificante da resistência mecânica comparada ao concreto usual, obtendo características semelhantes.

Outros experimentos utilizando lodo de ETA em argamassa também foram realizados em porcentagens de 5,10 e 15 %. A incorporação de lodo com concentração de 15% restringe sua aplicação porque não suportou a compressão mecânica, sendo inferior a 2 MPa, além de absorver 5% de água a mais que a argamassa convencional. A dose de 5%, apresentou resistência a compressão e elasticidade superiores a 2 MPa, porém, a absorção de água foi 5% a mais que a amostra convencional de argamassa. A incorporação de 10% de lodo na argamassa mostrou-se adequada, apresentando uma resistência à compressão superior a amostra convencional da argamassa, igualou-se os valores em resistência a elasticidade, entretanto, ocorreu uma absorção de 1% a mais que a amostra branca, o que pode ser corrigido com uma adição de um aditivo impermeabilizante em seu conjunto, o que geralmente é feito em no preparo (RIBEIRO, 2014).

3.8 Argamassa

De acordo com NBR 13281:2005, pode-se definir argamassa como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada) (ABNT, 2005).

A NBR 13281:2005 classifica as argamassas de acordo com a sua aplicação em: argamassas para assentamento, argamassas para revestimento de paredes e tetos, argamassa de uso geral, argamassa para reboco, argamassa decorativa em camada fina e argamassa decorativa em monocamada (ABNT,2005).

3.9 Propriedades das argamassas

Algumas das principais propriedades da argamassa serão apresentadas abaixo.

3.9.1 Propriedades em estado fresco

Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade que determina o quão fácil às argamassas podem ser misturadas, transportadas e aplicadas, em condição homogênea. Trata-se de uma propriedade que depende da combinação de outras propriedades tais como a consistência, a plasticidade, a retenção de água, a coesão, a exsudação, a massa específica e a adesão inicial (CARASEK, 2007).

Consistência e plasticidade

A consistência da argamassa pode ser descrita como a resultante das ações de forças internas, como coesão e ângulo de atrito interno e viscosidade, que condicionam a mudança de forma da mistura. Deste modo, o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados e sua granulometria afetam a consistência das argamassas (GOMES, 2008).

Retenção de água

O processo de retenção de água é a capacidade da argamassa em não perder a sua água de amassamento e manter a sua trabalhabilidade. A perda da água de amassamento pode comprometer outros fatores como a aderência, a capacidade de absorver deformações e a resistência mecânica (uma vez que a retenção da água permite que as reações de endurecimento da argamassa ocorram gradativamente, promovendo a adequada hidratação do cimento), e, com isso, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento (BAÍÁ; SABBATINI, 2000).

3.9.2 Propriedades no estado endurecido

Permeabilidade

Conforme Selmo (1989), a permeabilidade é a propriedade que reconhece a possibilidade de passagem de água em um material e pode ocorrer por infiltração sob pressão, por capilaridade ou por difusão de vapor de água através dos condutos capilares.

Durabilidade

Para Baía e Sabbatini (2000), a durabilidade da argamassa é a propriedade que está ligada ao seu período de uso, resultante de suas propriedades no estado endurecido e que revela o seu desempenho diante das ações do meio externo ao longo do tempo.

As argamassas podem ter sua integridade comprometida por diversos fatores, tais como secagem, absorção de água de chuva, temperaturas de congelamento, choque térmico, agentes corrosivos atmosféricos e agentes agressivos biológicos (SANTOS 2008).

Resistência mecânica

A resistência é a propriedade das argamassas de suportarem ações mecânicas. Essa propriedade depende do consumo e da natureza de agregados e aglomerantes da argamassa e da técnica de execução, visando a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento (BAÍA; SABBATINI, 2000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados todos os procedimentos, equipamentos e materiais utilizados no trabalho. A preparação da matéria-prima, envolvendo a secagem, moagem, análises granulométricas e físico-químicas do lodo foram realizadas no Laboratório de Química, Laboratório de Mineralogia e Petrografia e no Laboratório de Lavra, Planejamento e Tratamento de Minérios da Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul. A análise de matéria orgânica (M.O.) foi realizada no Laboratório de Argamassas da indústria Dagoberto Barcellos. A preparação da argamassa, confecção dos corpos de prova e os ensaios de resistência mecânica foram realizados no laboratório de Argamassas da FIDA.

4.1 Matéria-prima

A matéria-prima (lodo) coletada para incorporação na argamassa provém da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul. Na ETA trata-se em média 5 000 m³/dia de água, para aproximadamente, 34.654 mil habitantes (IBGE, 2015). A ETA é do tipo convencional, onde são realizadas as etapas de correção do pH, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. A correção do pH é feita com a adição de cal hidratada e a coagulação por sulfato de alumínio.

A água bruta é captada por meio de bombas instaladas no canal próximo às margens da Barragem do Salso e da Fonte do Mato, sendo 40% da água captada da Fonte do Mato e 60% da Barragem do Salso, com uma vazão total em média 95L/s.

O lodo gerado na ETA é proveniente dos filtros e decantadores nos processos de limpeza realizados uma vez ao dia e a cada 30 dias, respectivamente. A quantidade gerada de lodo é aproximadamente 300 m³ por mês. O lodo é conduzido por meio de tubulação por gravidade para uma unidade de desaguoamento, sendo que, posteriormente, é disposto em um terreno baldio.

As amostras de lodo (Figura 1) foram coletadas nos leitos de desaguoamento (Figura 2) no mês de agosto.

Figura 1- Amostra de lodo coletada do leito de secagem.



Fonte: Autora

Figura 2- Leito de secagem



Fonte: Autora

4.2 Caracterização da matéria-prima

4.2.1 Análise físico-química do lodo

A caracterização do lodo por análises físico-químicas fez-se necessária para a avaliação preliminar das características deste resíduo, além da identificação dos principais componentes.

A determinação do teor de umidade do lodo foi realizada empregando o método gravimétrico. As análises foram realizadas em triplicata, em estufa (Solab - modelo SL100) na temperatura de 110 °C até as amostras alcançarem a massa constante (Figura 3).

O pH foi determinado com auxílio de um pHmetro de bancada (Hanna - modelo HI 2214-01). Conforme o procedimento descrito no Manual de métodos de análise de solo da Embrapa (EMBRAPA, 1997).

A composição química foi determinada a partir da análise de fluorescência de raio X (BRUKER – modelo S1 TURBO SD). Para realização desta análise, a amostra coletada, primeiramente, foi encaminhada ao processo de secagem a 110°C, até alcançar massa constante, em seguida foram trituradas no almofariz e classificadas no agitador eletromagnético (Bertel – potência 300 W) de peneiras, sendo que apenas as partículas contidas na peneira mesh 80 foram encaminhadas para a análise de fluorescência de raio X, representada na Figura 4.

Figura 3- Triplicatas com massa constante destinadas ao método gravimétrico.



Fonte: Autora

Figura 4- Aparelho utilizado na análise de fluorescência de raio X.



Fonte: Autora

A análise da matéria orgânica (M.O.) foi realizada em mufla conforme os procedimentos estabelecidos pela Norma NBR 13600:1996 (ABNT, 1996). Primeiramente selecionou-se a quantidade de 100 g de lodo os quais foram divididos em duas cápsulas de porcelana contendo 50 g cada. As cápsulas de porcelana com lodo foram transferidas para a estufa com temperatura de 110°C por 24 horas. Em

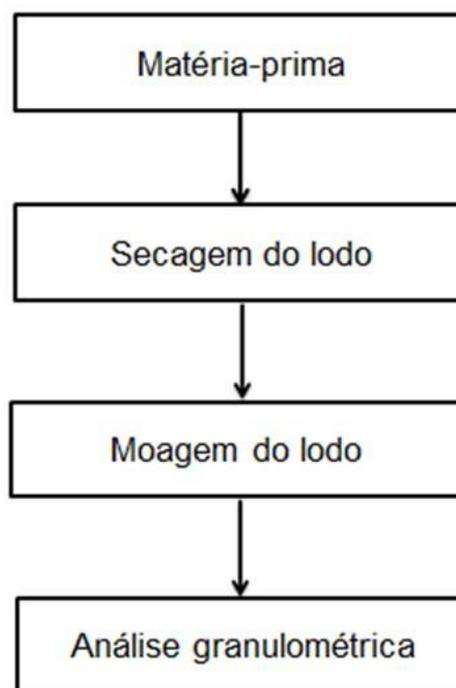
seguida foram retiradas da estufa e levados ao dessecador, onde permaneceram até atingir temperatura ambiente. Após atingir a temperatura ambiente, as cápsulas foram pesadas novamente para determinar a massa que restou do conjunto, obtendo a massa "A". A queima total do lodo foi realizada na mufla a temperatura de 445 °C pelo período de 12 h. Após a calcinação, as cápsulas foram levadas para o dessecador até atingir temperatura ambiente e novamente pesada para obter a massa "B". Utilizou-se a equação 1 para o cálculo da matéria orgânica:

$$MO (\%) = (1 - B/A) \times 100 \quad \text{Equação(1)}$$

4.2.2 Caracterização física das partículas do lodo

A caracterização física da matéria-prima seguiu as etapas esquematizadas na Figura 5.

Figura 5 - Etapas da caracterização física das partículas do lodo.



Fonte: Autora

Processo de Secagem

O processo de secagem do lodo foi realizado na estufa de secagem (Solab - modelo SL 100) na temperatura de 110 °C até atingir a massa constante.

Moagem

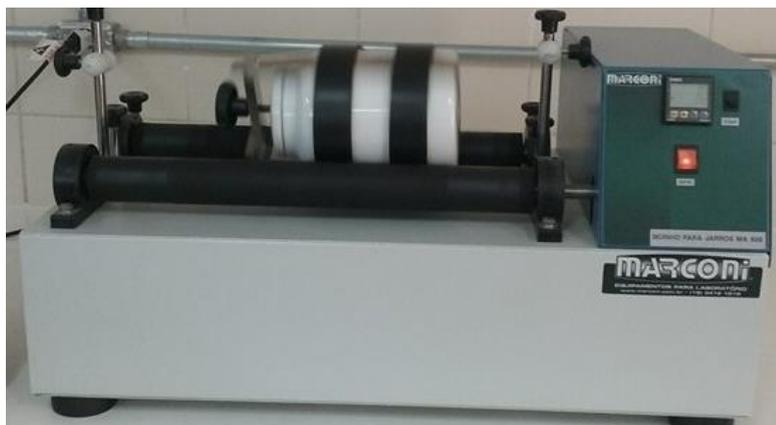
Após o procedimento de secagem cerca 455,9 g de amostra foi fragmentada no moinho de bolas para jarros (Marconi - modelo MA 500), por um período de 1h, com intervalos de 10 minutos. O processo de moagem está representado nas Figuras 6,7 e 8.

Figura 6- Lodo dentro do moinho de bolas.



Fonte: Autora.

Figura 7- Lodo sendo fragmentado no moinho.



Fonte: Autora.

Figura 8- Amostra após passar pela moagem.



Fonte: Autora.

Análise granulométrica

Pesou-se cada peneira e a bandeja de fundo na balança analítica e adicionou-se 455,9 g de lodo na primeira peneira (mesh 9), após colocou-se a coluna de peneiras no agitador eletromagnético. A cada 20 min a massa das peneiras com amostras era registrada para verificar o momento em que não haveria mais variação e o ensaio pudesse ser finalizado (Figura 9).

Figura 9- Coluna de peneiras utilizada na determinação granulométrica.



Fonte: Autora.

Determinação da massa específica por picnômetria líquida

No ensaio de picnômetria líquida, primeiramente pesou-se o picnômetro (seco), após encheu-o com água deionizada, secou-se a vidraria por fora e pesou-se novamente. Posteriormente, a amostra foi pesada, adicionada ao picnômetro e registrado o peso novamente. Esse experimento foi realizado em duplicata (Figura 10).

Figura 10- Duplicatas da amostra analisadas na picnômetria líquida.



Fonte: Autora.

Utilizou-se a seguinte Equação 2 para fazer o cálculo da massa específica real.

$$\rho_r = \frac{m_{lodo}}{\frac{(m_{pic+água+m_{lodo}}) - (m_{pic+água+lodo})}{\rho_{água}}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

ρ_r = massa específica real do lodo

$\rho_{água}$ = massa específica da água

m_{lodo} = massa do lodo

m_{pic} = massa do picnômetro

$m_{água}$ = massa da água

A massa específica da água adotada para os cálculos foi de 998,68kg/m³, referente à temperatura ambiente de 18°C (ANEXO A), temperatura registrada no dia do experimento.

4.3 Escolha da argamassa, material substituído e definição das porcentagens de lodo.

Segundo as análises das características físicas e químicas do lodo realizadas com os técnicos e engenheiros da FIDA, a argamassa escolhida para adição de lodo foi a argamassa de assentamento estrutural resistência de 4 MPa, utilizada para assentar blocos cerâmicos ou de concreto no sistema construtivo estrutural. Esse tipo de argamassa é mais resistente a possíveis trincas e fissuras que o lodo poderia ocasionar devida a presença de metais e matéria orgânica em sua composição. A argamassa selecionada é constituída de areia artificial calcária, filler mineral calcário, cimento e cal.

O filler mineral calcário é um aditivo mineral de baixo custo que possui efeitos benéficos sobre as propriedades do concreto e argamassas, melhorando a trabalhabilidade, densidade, permeabilidade, capilaridade e menor tendência a fissuração (BELTRÃO,2010).

A contribuição do cimento nas propriedades das argamassas está voltada, sobretudo para a resistência mecânica. Além disso, ele contribui para a retenção da água de mistura e para a plasticidade (SZLAK *et al.*, 2002).

A utilização de areia artificial calcária, segundo Tiecher (2003), é um produto alternativo, que causa menor degradação ao meio ambiente. Se utilizada para levantamento de alvenarias denota maior aderência que a areia natural, pois possui grãos mais angulosos e ásperos. Cabe destacar que a areia artificial calcária é considerada um produto alternativo com melhor custo/benefício, em termos de redução de matéria-prima e custo total.

Em argamassas onde há apenas a presença de cal, sua função principal é funcionar como aglomerante na mistura. Neste tipo de argamassa, destacam-se as propriedades de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações. No entanto, são reduzidas as suas propriedades de resistência mecânica (SZLAK *et al.*, 2002). Em argamassas mistas (cimento, cal e areia) devido à finura da cal há retenção de água em volta de suas partículas ocasionando uma maior retenção de água na argamassa. Dessa forma, ela pode contribuir para uma melhor hidratação do cimento, além de contribuir significativamente para a trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações (SZLAK *et al.*, 2002). Por não influenciar diretamente na resistência da argamassa e por existirem argamassas sem a presença de cal escolheu-se substituí-la parcial e totalmente para realização dos ensaios mecânicos.

4.4 Preparo da argamassa, confecção dos corpos de prova (CPs) e ensaio de resistência mecânica.

O preparo da argamassa, a confecção dos CPs e a determinação da resistência à compressão, foram feitos com base nos procedimentos descritos na NBR 7215:1996 (ABNT, 1996).

A incorporação do lodo de ETA na argamassa foi feita em substituição de 40, 80 e 100 % na massa da cal e de 5, 10 e 15% em relação à massa total do corpo de prova.

4.4.1 Preparo da argamassa

Os materiais utilizados no preparo da argamassa de assentamento estrutural 4 MPa foram cal hidratada, cimento CPV- Ari Portland, areia calcária, filler mineral calcário e água. Para a mistura dos materiais foi utilizada uma argamassadeira eletromecânica (Solocap- 220 V) por 30 segundos. Os agregados da argamassa estavam estocados em sacos plásticos fechados para que não houvesse a influência da umidade. O traço utilizado para a confecção dos corpos de prova da argamassa de assentamento sem adição de lodo é 1:1,69:9,18 de cimento, cal e areia respectivamente, correspondendo em massa a quantidade de 111 g de cimento, 180 g de cal e 1020 g de areia.

4.4.1.1 Preparo da amostra com 5, 10 e 15% de lodo

Para o preparo da argamassa com 5, 10 e 15% de lodo, os seguintes cálculos foram realizados para as porcentagens de incorporação do lodo (Eq. 3).

$$CP = 1,5 \text{ Kg} \times \% \text{ Lodo incorporada} \quad \text{Equação(3)}$$

Onde:

1,5 kg é a quantidade de materiais existentes por de corpo de prova.

CP= Confecção do corpo de prova para o preparo da argamassa.

%= 0,05; 0,10 e 0,15.

Escolheu-se fazer o cálculo em cima da massa de materiais existentes por corpo de prova devido à possibilidade de se adicionar maiores quantidades de lodo na argamassa. Pois o cálculo diretamente em cima da massa da cal (180 g) acarretaria na adição de quantidades muito baixas de lodo.

Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades dos agregados da argamassa com as diferentes porcentagens de incorporação de lodo.

Tabela 2 - Quantidade de materiais da argamassa com diferentes proporções de lodo.

Teor de lodo (%)	0	5	10	15
Materiais (g)				
Areia Grossa	180	180	180	180
Areia Média	270	270	270	270
Areia Fina	570	570	570	570
Cimento	111	111	111	111
Cal	180	105	30	0
Fíler	189	189	189	189
Lodo	0	75	150	225
Água (mL)	190	190	190	190

Fonte: Autora.

Utilizou-se a mesma quantidade de água para todos os corpos de prova, pois a adição de mais água implicaria na diminuição da resistência da argamassa.

Na Figura 11, está representado o processo de preparo da argamassa com a adição do lodo de ETA.

Figura 11- Fase de preparo da argamassa com a adição de lodo na argamassadeira.



Fonte: Santos (2016).

4.4.2 Confeção dos corpos de prova (CPs)

Moldou-se 3 corpos de prova prismáticos (forma prismática 4 cm x 4 cm x 16 cm tripla) desformando-os após 48h. Após a desforma, os corpos de prova foram acondicionados em ambiente com $23 \pm 2^\circ\text{C}$ para secagem até atingir 28 dias para o ensaio de resistência mecânica. A cada teor de lodo adicionado (5%, 10% e 15%) foram confeccionados 3 CPs, totalizando 9 CPs representados na Figura 12 .

Figura 12-Corpos de provas contendo 5, 10 e 15 % de lodo respectivamente.



Fonte: Autora.

4.4.3 Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial

O ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão axial foi obtido conforme está preconizado pela NBR 13279:2005 (ABNT, 2005). O equipamento utilizado foi à prensa hidráulica elétrica digital (modelo CI, SOLOCAP) representada na Figura 13. Os corpos de prova rompidos após os ensaios se encontram na Figura 14.

Figura 13- Prensa hidráulica elétrica utilizada nos ensaios de resistência.



Fonte: Autora.

Figura 14- Corpos de prova após os ensaios de resistência mecânica.



Fonte: Autora.

Resistência à Tração na Flexão

O método de ensaio de tração na flexão foi realizado conforme procedimentos da Norma NBR 13279:2005 (ABNT, 2005).

Retirou-se a amostra do acondicionamento tomando-se as medidas de massa e geométricas (comprimento, largura e altura). Posicionou-se os corpos de provas no dispositivo de ensaio conforme Norma NBR 13279:2005 (ABNT,2005), aplicando carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de 50 ± 10 N/s.

A resistência à tração na flexão foi calculada segundo a equação 4:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

R_f – Resistência à tração na flexão (MPa);

F_f – Força de flexão aplicada (N);

L – Distância entre apoios igual a 96,70 mm.

A resistência à tração por flexão de prismas foi determinada pela média dos 3 corpos de prova rompidos, sendo que o desvio absoluto máximo é de 0,3 MPa.

Resistência à Compressão Axial

Os equipamentos e acessórios utilizados no ensaio de compressão foram os mesmos do ensaio de resistência à tração na flexão, adaptados para os ensaios de compressão axial.

Utilizou-se os meio-prismas dos ensaios de resistência a tração na flexão, posicionando-os no dispositivo de ensaio conforme a Norma NBR 13279:2005 (ABNT, 2005); Com uma aplicação da carga até a ruptura em uma taxa de carregamento de 500 ± 50 N/s.

A resistência à compressão axial foi calculada de acordo com a equação 5:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

R_c – Resistência à compressão (Mpa);

F_c – Força máxima aplicada (N);

1600 - é área da seção 40 x 40 mm (mm²).

A resistência a compressão foi dada pela média entre os 6 corpos de prova rompidos, sendo permitido um desvio absoluto máximo de 0,5 MPa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise físico-química do lodo

Os resultados das análises do teor de umidade, matéria orgânica e pH do lodo são apresentados na Tabela 3 e os resultados da análise de fluorescência de Raios X são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Resultados do teor de umidade, matéria orgânica e pH .

Amostra	Teor de umidade (%)	*DP	M.O. (%)	**DP	pH
Lodo da saída do decantador	83,24	1,28	51,61	6,52	6,78

*DP = desvio padrão do teor de umidade; **DP = desvio padrão da matéria orgânica.

Fonte: Autora.

O valor de pH da amostra está dentro da faixa de pH característico para o lodo de ETA que varia de 6 a 8 (RICHTER, 2001).

Verifica-se que para o aproveitamento do lodo como agregado na argamassa será necessário o seu pré-tratamento por meio da secagem para remoção da sua elevada umidade (83,24%).

Em relação à matéria orgânica no lodo, a sua elevada concentração, comparado com estudos anteriores (RICHTER, 2001), deve estar relacionada com a matéria orgânica presente na água bruta, visto que a ETA é abastecida por um rio que recebe águas residuárias do município sem tratamento secundário. De acordo com Bueno (2000), a matéria orgânica pode ocasionar possíveis patologias na argamassa, como trincas nos revestimentos e diminuição da resistência a compressão.

Tabela 4 – Análise química por fluorescência de Raios X.

Elementos	Lodo (ppm)	Porcentagem (%)
Al₂O₃	165000,00	16,50
SiO₂	178000,00	17,80
P₂O₅	3390,00	0,3399
S	4340,00	0,4340
Cl	1480,00	0,1480
K₂O	7250,00	0,7250
CaO	4430,00	0,4430
TiO₂	6020,00	0,6020
MnO	3870,00	0,3870
Fe₂O₃	111000,00	11,10
Rb	235,00	0,0235
Zr	314,00	0,0314
Rh	370,00	0,0370
Ce	1340,00	0,1340
Cd	2390,00	0,2390
Pd	575,00	0,0575
As	40,00	0,0004
Cr	296,00	0,0296

Fonte: Autora.

Os elementos encontrados em maiores quantidades na análise de fluorescência de Raio X foram 16500,00 ppm de óxido de alumínio; 178000,00 ppm de óxido de Silício e 111000,00 ppm de óxido de ferro. A elevada concentração de óxido de alumínio verificado nas amostras está relacionado com a aplicação do sulfato de alumínio como coagulante, a mesma justificativa pode ser dada pela presença do óxido de ferro que é comercializado como sulfato de alumínio ferroso misturado com o sulfato de alumínio. Já a presença do elemento óxido de silício está associado com a areia proveniente da água bruta.

5.2 Caracterização física das partículas do lodo

Peneiramento

Na Tabela 5 são apresentados os dados da análise granulometria, em que é possível observar a fração de material retido (Figura 16), retida acumulada (Figura 17) e passante em cada peneira (Figura 18).

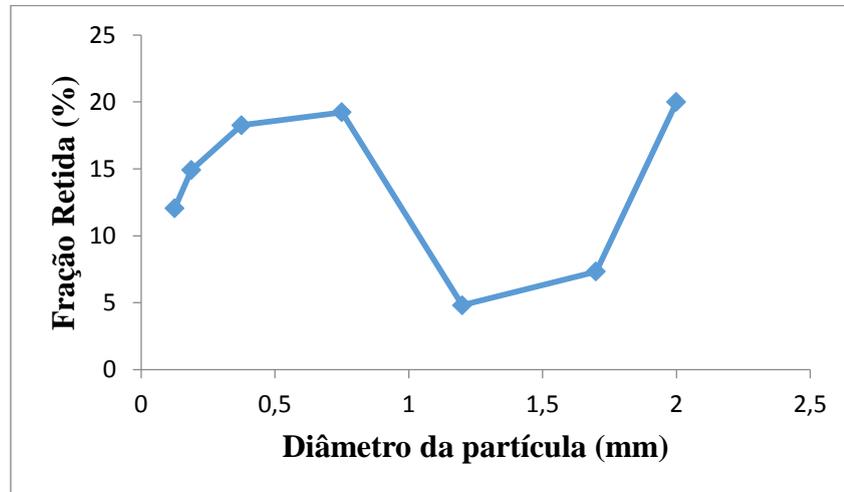
Tabela 5 – Dados da análise granulométrica

Abertura da Peneira (mm)	Diâmetro da partícula (mm)	Peso (g)	Fração retida (%)	Fração Passante (%)	Fração retida acumulada (%)
2	2	91,13	19,98	80,01	19,99
1,4	1,7	33,43	7,33	92,66	27,32
1	1,2	21,93	4,81	95,19	32,13
0,5	0,75	87,66	19,23	80,77	51,36
0,25	0,375	83,26	18,26	81,74	69,62
0,125	0,1875	68	14,92	85,08	84,54
Fundo	0,125	54,93	12,05	87,95	96,59

Fonte: Autora.

Pela análise granulométrica, apresentada na Tabela 5 e nos gráficos 16, 17 e 18, observa-se que a maior parte da amostra do lodo analisado possui diâmetros entre a 0,18 mm e 1 mm, aproximadamente, caracterizando-o como areia fina e média, atributo semelhante aos agregados convencionais de argamassa.

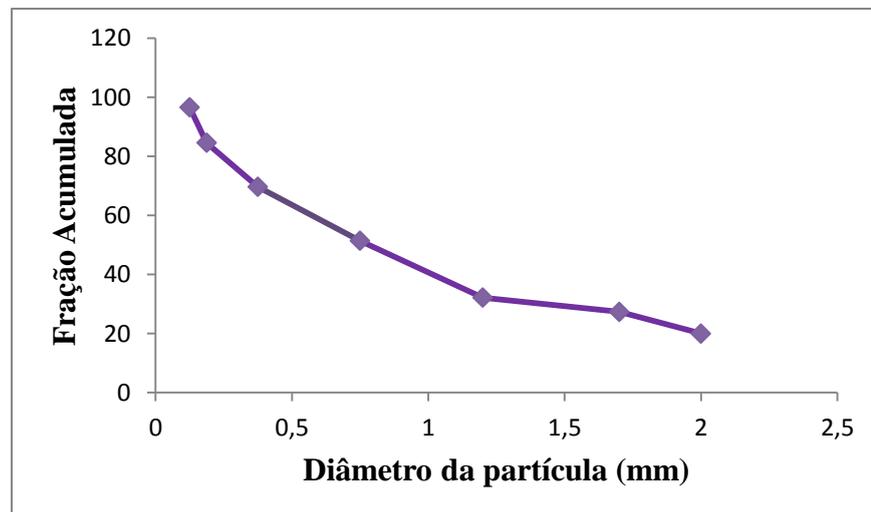
Figura 16 - Fração de partículas retidas



Fonte: Autora.

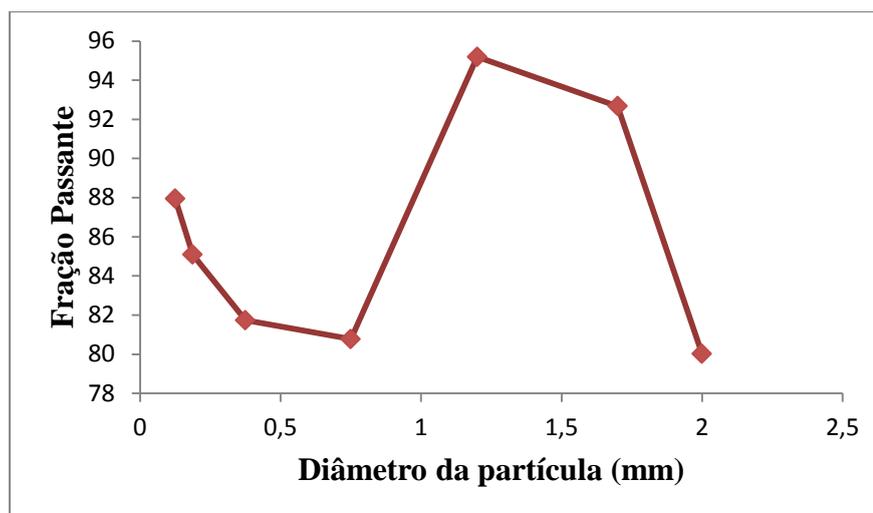
De acordo com a Figura 16 a fração de partículas retidas é maior na peneira de abertura 2 mm localizada pelo diâmetro da partícula de 2 mm. O que indica que a maioria das partículas do lodo desse ensaio encontra-se em diâmetros maiores.

Figura 17- Fração das partículas retidas acumulada.



Fonte: Autora.

Figura 18- Fração das partículas passantes.



Fonte: Autora.

Pela análise granulométrica, apresentada na Tabela 5 e nos gráficos 1,2 e 3, observa-se que a maior parte da amostra do lodo analisado possui diâmetros entre a 0,18 mm e 1 mm, aproximadamente, caracterizando-o como areia fina e média, atributo semelhante aos agregados convencionais de argamassa.

Esse ensaio foi realizado de acordo com a NBR 9289: 1998 (ABNT, 1998), que determina a finura da cal para argamassas, utilizando as peneiras de malha 30 e 200. A maioria das partículas ficou retida na malha 200, indicando que cal pode ser substituída pelas partículas de lodo.

Ensaio de Picnometria líquida - Massa específica real

Os dados do ensaio de picnometria líquida encontram-se na Tabela 6. Pela análise dos dados, a massa específica encontrada foi de 1610 kg/m^3 , comparando com as massas específicas dos constituintes da argamassa (cimento, cal e areia) tem-se 3150 kg/m^3 para o cimento, 2360 kg/m^3 para a massa específica da areia e 1700 kg/m^3 a massa específica da cal, indicando que o lodo apresenta massa específica muito próxima da cal, podendo dessa forma substituí-la.

Tabela 6- Resultados do ensaio de picnometria líquida.

Picnômetro	MESH	m_{pic}	$m_{\text{pic+água}}$	M_{lodo}	$m_{\text{pic+lodo}}$	$m_{\text{pic+água+lodo}}$
100 mL	9	35,8210g	138,1993 g	33,8223g	69,6433 g	151,7558 g
	9	36,9715g	136,4789 g	31,5178g	68,4893 g	147,7396 g

Fonte: Autora

5.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

As dimensões dos corpos de prova para realização dos ensaios de resistência à tração na flexão com lodo nas concentrações de 5%, 10% e 15% são apresentados pela Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente.

Tabela 7- Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 5% de lodo.

CP	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
1	160,40	40,07	40,66	419,92
2	160,25	40,32	41,12	415,51
3	160,69	40,00	40,82	417,82

Fonte: Autora.

Tabela 8- Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 10% de lodo.

CP	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
1	160,35	40,06	40,96	420,02
2	160,60	40,28	40,28	416,71
3	160,81	40,03	41,03	418,92

Fonte: Autora.

Tabela 9- Dados dos corpos de prova para o ensaio de resistência a tração por flexão com 15% de lodo.

CP	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Massa (g)
1	160,25	40,03	40,86	419,31
2	160,48	40,40	40,36	415,95
3	160,71	40,06	40,98	417,82

Fonte: Autora.

Na Tabela 10 são apresentados os dados referentes ao ensaio com o corpo de prova sem adição de lodo. Os resultados encontrados no ensaio de resistência à

tração na flexão com lodo com as concentrações de 5%, 10% e 15% são apresentados pela Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13, respectivamente.

Tabela 10 - Valores referentes à argamassa de assentamento estrutural 4MPa sem adição de lodo para o ensaio de resistência à tração na flexão (referência).

CP	Carga de Flexão F_f (N)	R_f 28 dias (MPa)	Desvio absoluto
1	1284,6711	2,4115	0,0816
2	1176,7890	2,4670	0,1371
3	931,6317	2,1114	0,2185

Fonte: Dados fornecidos pela FIDA. - R_f : resistência a flexão. Elaborada pela autora.

Media Rf: 2,3299 MPa

Tabela 11- Valores referentes à argamassa contendo 5 % de lodo.

CP	Carga de Flexão F_f (N)	R_f 28 dias (MPa)	Desvio absoluto
1	882,5985	2,0003	0,0973
2	843,3719	1,9114	0,0084
3	794,3386	1,8002	0,1028

Fonte: Autora.

Média Rf:1,903 MPa

Em relação aos valores obtidos com a argamassa de referência, a utilização de 5% de lodo de ETA, resultou em uma redução insignificante da carga de flexão. Para que a argamassa seja aprovada para assentamento estrutural em relação a resistência à tração na flexão a média da resistência a flexão tem que ser acima de 2 MPa e obteve-se 1,903 MPa.

Tabela 12- Valores referentes à argamassa contendo 10 % de lodo.

CP	Carga de Flexão F_f (N)	R_f 28 dias (MPa)	Desvio absoluto
1	294,1995	0,6667	0,0367
2	264,7795	0,6000	0,030
3	274,5862	0,6223	0,007

Fonte: Autora.

Média Rf: 0,630 MPa

A argamassa com adição de 10% de lodo apresentou uma resistência à tração na flexão muito inferior, valor igual a 0,630 MPa, o que indica que essa argamassa não alcançou a resistência a flexão suficiente e não poderá ser utilizada.

Tabela 13- Valores referentes à argamassa contendo 15 % de lodo.

CP	Carga de Flexão F_f (N)	R_f 28 dias (MPa)	Desvio absoluto
1	294,1995	0,6667	0,1267
2	245,1625	0,5556	0,0156
3	186,3263	0,4229	0,1171

Fonte: Autora.

Media Rf: 0,54

A argamassa com 15% de lodo também não obteve a resistência mínima de 2 MPa, apresentando resistência à tração na flexão - valor igual a 0,54 - ainda mais inferior que o corpo de prova com 10% de lodo.

5.4 Ensaio de resistência à Compressão Axial

Na Tabela 14 são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial com a argamassa de referência, sem adição de lodo. Já nas Tabelas 15, 16 e 17 são apresentados os resultados dos ensaios realizados com argamassas de 5%, 10% e 15%.

Tabela 14 - Valores referentes à argamassa de assentamento estrutural 4MPa sem adição de lodo para o ensaio de resistência a compressão (referência).

CP	Carga Fc (N)	Rc (MPa)	Desvio absoluto
1	6109,5429	4,0184	0,4510
2	6854,8483	4,2842	0,1852
3	8100,2929	4,9626	0,4932
4	7453,0540	4,6581	0,1887
5	7384,4074	4,6152	0,1458
6	6845,0417	4,2781	0,1913

Fonte: Dados fornecidos pela FIDA. Rc: resistência a compressão. Elaborada pela autora.

Média Rc:4,4694 MPa

Tabela 15- Valores referentes à argamassa contendo 5 % de lodo.

CP	Carga Fc (N)	Rc (Mpa)	Desvio absoluto
1	6119,3496	3,8245	0,2666
2	6923,4949	4,3271	0,2360
3	6943,1082	4,3394	0,2483
4	6609,6821	4,1310	0,0399
5	6325,2892	3,9533	0,1378
6	6354,7092	3,9716	0,1195

Fonte: Autora.

Média Rc: 4,0911 MPa

Em relação aos valores obtidos com a argamassa referência, a utilização de 5% de lodo, alcançou de maneira satisfatória a resistência a compressão de 4MPa, indicando ser possível a substituição parcial pela cal.

Tabela 16- Valores referentes à argamassa contendo 10 % de lodo.

CP	Carga Fc (N)	Rc (MPa)	Desvio absoluto
1	853,1785	0,5332	0,1409
2	696,2721	0,4351	0,2390
3	1137,5714	0,7109	0,0368
4	1500,4174	0,9377	0,2636
5	1274,8645	0,7967	0,1226
6	1010,0895	0,6313	0,0428

Fonte: Autora.

Media Rc:0,6741 MPa

A argamassa contendo 10% de lodo apresentou resistência a compressão de 0,6741, valor extremamente abaixo do estabelecido pelas normas técnicas para este tipo de argamassa (4 MPa). Isso pode ter ocorrido em decorrência da quantidade relevante de matéria orgânica presente nesse resíduo, o que pode ter ocasionado à baixa resistência a compressão.

Tabela 17- Valores referentes à argamassa contendo 15% de lodo.

CP	Carga Fc (N)	Rc (MPa)	Desvio absoluto
1	1157,1847	0,7232	0,0093
2	1157,1847	0,7232	0,0093
3	1166,9913	0,7293	0,0154
4	1127,7647	0,7048	0,0091
5	1108,1514	0,6925	0,0214
6	1137,5714	0,7109	0,0030

Fonte: Autora.

Media Rc: 0,7139 MPa

A argamassa com 15 % de lodo substituiu completamente a cal e apresentou um valor de resistência mecânica atípico comparado a argamassa de 10% de lodo, considerando que quanto maior a concentração de lodo menor a resistência do

material. Porém as duas não alcançaram a resistência exigida (4MPa) e, portanto, não poderão ser fabricadas.

O lote é automaticamente aceito sempre que os resultados dos ensaios atenderem às exigências da NBR 13281:2005 (ABNT, 2005).

6. CONCLUSÕES

Na análise dos resultados físico-químicos, verificou-se que o lodo da ETA de Caçapava do Sul possui elevada concentração de matéria orgânica comparado com outros estudos, indicando que outra alternativa de aproveitamento pode ser a sua aplicação no solo, desde estudos nesta área sejam realizados.

Pelos resultados obtidos na caracterização física das partículas, foi possível avaliar o seu potencial para incorporação como matéria prima na argamassa, principalmente para substituir parcialmente a cal.

No resultado dos ensaios mecânicos dos corpos de prova com 10% e 15% de lodo foram encontrados valores inferiores aos estabelecidos pelas normas técnicas para a argamassa de assentamento estrutural.

Por outro lado, a dose incorporada de 5% na argamassa mostrou-se satisfatória nos resultados dos ensaios mecânicos, apresentando uma resistência à compressão igual à amostra convencional da argamassa (4MPa) e valores muito próximos para a resistência a flexão (1,903 MPa) de 2MPa.

Portanto, pelo estudo realizado, observa-se que este resíduo pode ser aplicado na argamassa estrutural (5%) em substituição parcial da cal hidratada. O aproveitamento pelas indústrias de argamassa da região de Caçapava do Sul pode solucionar o problema relacionado ao descarte inadequado no meio ambiente pela companhia de tratamento de água e, ainda, evita em grande parte, a extração de agregados convencionais pela mineração, diminuindo, desta forma, impactos ambientais negativos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS, C. S. **A saúde bucal através da fluoretação nas águas de abastecimento público**, 2006.

AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION – AWWA. Research Fundation. **A Water Handbook**. AWWA, 1999.

ANDRADE, P. S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP- Universidade Estadual de Campinas, 2005.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. RiMa/ABES/PROSAB, 2001.

Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos— Requisitos. NBR 13281**. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Classificação dos Resíduos Sólidos. NBR 10004**. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. NBR 13276**. Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. NBR 7200**. Rio de Janeiro, 1998.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a compressão. NBR 13279**. Rio de Janeiro, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Agregados - Determinação da composição granulométrica. NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos-Requisitos. NBR 13281.** Rio de Janeiro, 2005.

BAIA, L. L. M.; SABATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimentos de argamassa.** 4. Ed. São Paulo: Editora O nome da rosa, 2000.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** in: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, João Pessoa. ABES, 2001.

BRASIL, Lei Federal 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 17 abril de 2016

BRASIL, Lei Federal 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998, que **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em 18 abril de 2016.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em 18 abril de 2016.

BRASIL, Ministério da Saúde, Portaria 2.914 de dezembro de 2011, que **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 18 abril de 2016.

BELTRÃO, F. C. **A Influência do Metacaulim nas Propriedades do Concreto.** Belém: Universidade da Amazônia - UNAMA, 2010.

BENVINDO, A.L; LINS F.F **Tratamento de Minérios.** CETEM – Centro de Tecnologia Mineral; 3ª Edição, Rio de Janeiro, 2002.

BUENO, R.I.D.S. **Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento – Caso rio Paraíbuna –SP.** Dissertação de Mestrado, USP-Universidade de São Paulo, 2010.

BUENO, C. F. H. **Tecnologia de materiais de construções.** UFV - Universidade Federal de Viçosa, 2000. Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_construcao.pdf>. Acesso em 05 mai. de 2016.

CARASEK, H. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON,. V.1, p 833 – 904,2007.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Variáveis de qualidade das águas**, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguassuperficiais/aguasinteriores/documentos/indices/02.pdf> >. Acesso em: 30 maio 2016.

CLEASBY, J.L., LOGSDON, G.S. **Granular bed and precoat filtration**. In: american public health association letterman, r. d. Water quality and treatment. A handbook of community water supplies,1999.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, **Resolução nº 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> > Acesso em 05 jul.de 2016.

CORDEIRO, J. S. **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de estações de tratamento de água**. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodo de estações de tratamento de água. Cap.1, p.1-19. RiMa/ABES/PROSAB,1999.

CORDEIRO, J.S; REALI, M. A. P. **Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, p. 1-18, 1999.

CORNWELL, David. A. **Water treatment plant waste management**. Denver: AWWARF,1987.

CORNWELL, David. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. **Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals**. Denver: American Water Works Association,2000.

CORNWELL, D. A. **Water treatment residuals engineering**. Denver: AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2006.

CUBILLOS, A.. **Calidad y Control de La polucion del Agua**. Mérida: CIDIAT/Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1981.

DE ANDRADE SILVA, M. S.; Döll, M. M. R.; Wiecheteck, G. K.; Rodrigues, R. N. S. **Estimativa da quantidade de lodo produzido no tratamento de água do tipo convencional e Actiflo®–comparação de metodologias**. In: 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, Ponta Grossa, 2013.

DI BERNARDO, L. **Tecnologias de tratamento de água com filtracion rapida**. In: Seminário Internacional sobre Seleccion de Tecnologia para el Mejoramento de La Calidad Del Agua. Santiago de Cali, Peru, 1999.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. ABES, 1993.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Sao Carlos, SP: ABES: Rima, 2003.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P.S.; SOUZA FILHO, A.G. **Água de lavagem de filtros rápidos**. In: REALI, M.A.P. (Coord.). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. ABES p. 143-168,1999.

ECKENFELDER, J. W. W. **Industrial Water Pollution Control**. Mc GrawHill Series in Water Resources and Environmental Engineering, 1989.

EMBRAPA, **Manual de Métodos de Análise de Solo**., 2ª edição, Rio de Janeiro, 1997.

FERREIRA FILHO, S.S.; WAELKENS, B.E. **Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante poli (cloreto de alumínio) e sua disposição em estações de tratamento de esgotos**. Revista Engenharia sanitária e Ambiental, v.14,n3, p 317-326, jul/set 2009.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros-Estudo de caso–ETA Cardoso**. Dissertação de Mestrado, UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, 2004.

GARCEZ, L. N. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Manual%20de%20Tecnica%20de%20Laboratorio_Aguas%20e%20Esgotos%20Sanitarios%20e%20Industriais.pdf>. Acesso em 4 jul. de 2016.

GOMES, A. O. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas. Comunidade da Construção.** UFBA - Universidade Federal da Bahia, 2008.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. **Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água.** In: congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 17. 1993, Natal. Anais..Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

GODBOLD, P.; LEWIN, K.; GRAHAM, A.; BARKER, P. **The potential reuse of water utility products as secondary commercial materials, 2003 apud ANDRADE, P.S . Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha : estudo de caso.** Dissertação de mestrado, UNICAMP- Universidade Estadual de Campinas, 2005.

HELLER L., **Saneamento e Saúde,** OMS – Organização Mundial da Saúde. Brasília, 1997.

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – **Censo 2015.** Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 02 jun de2015.

JACOMASSI, F.E. **Estudo das micropropriedades de resíduos sólidos gerados nos decantadores de Estação de tratamento de água.** Dissertação de Mestrado, UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, 2009.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S.S. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n.2, p.117-126, 200

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica.** Tese de Doutorado, USP´ - Universidade de São Paulo, 2012.

KAWAMOTO, P. H; FERREIRA, S.S. **Efeito da oxidação química no processo de condicionamento e desidratação de lodos de estações de tratamento de água.** Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, IX. Porto Seguro. Bahia. Anais, 2000.

LEE, E. S.; SANTOS, F. J. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético.** In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, IBEAS, Londrina, 2011.

METCALF; E. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Editores: Tchobanoglus, G.; Burton, L. F.; Stensel, H. D. Metcalf e Eddy, 2003.

MEGDA, C.R; SOARES L.V; ACHON C.L. **Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs**. In: Saneamento ambiental Brasileiro: Utopia ou realidade?. ABES, 2005.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. N. F. **Influence of the addition of water treatment sludge on the properties and microstructure of red ceramic**. Cerâmica, v. 54, n. 330, p. 167-173, 2008.

POLIDO, M. A. **Estudo de argamassa com adição do lodo de ETA**. Monografia, UTFPR- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. **Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna–Curitiba–PR**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 2003.

RIBEIRO, R. F. **Estudo de dosagem de lodo de ETA em argamassa**. Monografia, UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodo de estação de tratamento de água**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistemas de tratamento de água**, 2006. Disponível em: <http://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf>. Acesso em: 2 jul. de 2016.

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Norma Técnica Interna NTS 004**, 1997. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts004.pdf>>. Acesso em 5 jul.de 2016.

SAGOBAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. **Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SLAZK, B; TANIGUTI, E; NAKAKURA, E; MOTA, E; BOTTURA, E; FRIGIERI,E. **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo, ABCP,2002.

SALES, A.; CORDEIRO, J.S.; PALIARI, J.S.; PORTELA, K.F. **Utilização de resíduos Gerados em estações de tratamento de água em argamassas e concretos de cimento portland.** In: congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 15. 2002, Natal. Anais eletrônicos. Natal: IPEN, 2002. Disponível em <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2002/arqs_pdf/pdf_100/tc110-110.pdf>. Acesso em: 18 maio de 2016.

SALES, A.;SOUZA, F.R. **Concretos e argamassas reciclados com adição conjunta e exclusiva de LETAs e RCDs.** In: congresso brasileiro de engenharia e ciências materiais, 17,2006. Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-212-017.pdf>>. Acesso em: 02 maio de 2016.

SANTOS, F.P. **Fotografia e Ilustrações**, 2016.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil.** Tese de doutorado, UFRN-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

SARON, A.; LEITE, V. M. B. **Quantificação de lodo em estação de tratamento de água.** In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, João Pessoa, ABES, 2001.

SILVA JR., A. P.; ISAAC, R. L. **Adensamento por gravidade de lodo de ETA gerado em decantador convencional e decantador laminar.** In: congresso interamericano de ingenieria sanitaria y ambiental, xxviii, Cancún, México, 2002.

SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L. M. **Avaliação da lixiviação de alumínio e da produção de ácidos graxos voláteis em reatores anaeróbios utilizados para estudar a disposição final de lodos de ETAs em aterros sanitários.** In: congresso interamericano de engenharia sanitária, Porto Alegre. Anais, 2000.

SOUZA, F.S. **Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto.** Tese de Doutorado. USP- Universidade de São Paulo, 2010.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água tamanduá, como aditivos em massas para cerâmica vermelha.** Dissertação de Mestrado, UNIOESTE- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2008.

TEIXEIRA, S. R; SOUZA, S.A; SOUZA, N.R; ALSÉSSIO, P; SANTOS, G.T.A. **Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural (Effect of the addition of sludge from water treatment plants on the properties of structural ceramic material)**. Cerâmica, v. 52, p. 215-220, 2006.

TIECHER F. **Comparação de concreto dosado com areia natural e artificial**. IBRACON- Instituto Brasileiro do Concreto- 45º Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, Espírito Santo, 2003.

VALDEHITA ROSELLO, M.T. **Morteros de cemento para albañilería**. Monografía, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1976.

ANEXO A

Tabela 1: Massa específica da água para temperatura de 0 a 100 graus Celsius.

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Fonte: Site: <<http://www.vaxasoftware.com/indexes.html>> Acesso em 18de nov.de 2016