

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**USO DO RESÍDUO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE JI-PARANÁ/RO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO**

MARIA ANGELICA FOES DA ROCHA

PORTO VELHO  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA ANGELICA FOES DA ROCHA

**USO DO RESÍDUO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE JI-PARANÁ/RO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências dos Materiais

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adalena Kennedy Vieira

PORTO VELHO  
2016

### Ficha Catalográfica

R672u Rocha, Maria Angelica Foes da  
Uso do resíduo da estação de tratamento de água de Ji-Paraná/RO como material cimentício / Maria Angelica Foes da Rocha. 2016  
53 f.: il. Color; 31 cm

Orientador: Raimundo Kennedy Vieira  
Coorientador: Adalena Kennedy Vieira  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas

1. argamassa. 2. sustentabilidade. 3. corpos de prova. 4. lodo. 5. Reciclagem. I. Vieira, Raimundo Kennedy II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

MARIA ANGELICA FOES DA ROCHA

## **USO DO RESÍDUO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE JI-PARANÁ/RO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências dos Materiais

**Aprovado em 11 de Agosto de 2016.**

### **BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. **Adalena Kennedy Vieira**, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>º</sup> Dr<sup>º</sup> **Nilton de Sousa Campelo**, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. **Ana Cristina Santos Strava Correa**, Membro  
Faculdade de Rondônia

## **AGRADECIMENTOS**

A diretoria, coordenações, corpo docente e acadêmicos da Faculdade de Rondônia por todo o apoio e compreensão durante o período de realização do programa de pós graduação em Engenharia Civil.

Ao estimado colega Hercules Jesus Borges, in memoriam, Coordenador de Pesquisa e Extensão da Faro e idealizador do convênio entre a FARO e a UFAM.

A querida Gunila por toda a paciência e atenção durante a realização dos estudos.

Ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas e ao seu corpo docente que não pouparam esforços em nos transmitir todo o seu conhecimento e nos servir de inspiração.

Ao técnico de laboratório da FARO Fábio Renato Oliveira Marques e ao acadêmico de engenharia civil da Faro Aedjota Matos de Jesus, pelo grande apoio nos ensaios de laboratório.

Aos meus orientadores, Dr<sup>o</sup>, Raimundo Kennedy e Dr<sup>a</sup> Adalena Kennedy Vieira, que com muita competência e amizade foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amados pais, Jayme Antônio dos Santos Foes e Nadia Aparecida Foes, por sempre demonstrarem que a educação é essencial.

Aos meus queridos irmãos, Paulo Afonso e Maria Leonor, pois mesmo distantes me estimularam e me ajudaram no decorrer deste trabalho.

Aos meus amores Luiz Fernando, Maria Alice e Maria Cecília, vocês são a razão de tudo.

## RESUMO

O lodo é um subproduto inevitável no tratamento da água a ser fornecida a uma população, sendo que a sua disposição final muitas vezes é realizada de forma inadequada e não sustentável. A argamassa é uma mistura de cimento, areia e água. Este trabalho tem o objetivo de avaliar a substituição parcial do agregado miúdo pelo lodo produzido na estação de tratamento de água de Ji-Paraná na produção de argamassa. A metodologia utilizada no presente estudo consistiu na coleta e secagem do lodo, caracterização do lodo bem como dos materiais convencionais, determinação da dosagem do lodo, confecção dos corpos de prova e a realização dos ensaios tecnológicos.

As dosagens de lodo foram empregadas nas proporções de 1, 2, 3, 4 e 5% de lodo, nos traços 1:8 e 1:7, de cimento e areia respectivamente. Os resultados indicam que a utilização de 5% de lodo não é viável, visto que nessa proporção não ocorre o endurecimento do material Cimentício. Os ensaios de resistência a compressão indicam que o traço 1:7, onde a quantidade de lodo utilizada é menor, apresenta resistência a compressão superior ao traço 1:8, apresentando também uma menor absorção de água, sendo que os melhores resultados ocorreram com a incorporação de 1, 2 e 3% de lodo. Diante dos resultados conclui-se que a incorporação do lodo nessas proporções torna o material aceitável para o uso em material Cimentício.

*Palavras-chave:* lodo, argamassa, sustentabilidade, corpos de prova

## **ABSTRACT**

Solid waste produced in water treatment plants (WTP's) act as an environmental concern factor in relation to its treatment and final disposal. Sanitation companies must face this problem. The sludge is a byproduct in the water treatment process to be provided to a population, and the final disposal of this waste is carried out in an environmentally incorrect. This study aims to evaluate the partial replacement of fine aggregate by the sludge produced in water treatment Ji-Paraná in the production of mortar for cement production. The methodology used in the study consisted of the collection, drying and characterization of sludge, in determining the sludge dosage, with subsequent preparation of specimens and conducting technological tests.

Sludge dosages employed were in the ratios 1, 2, 3, 4 and 5% in the mixes with c/s 1: 8, 1: 7. (Cement and Sand respectively). The results indicate that the use of 5% of sludge obtained a satisfactory result, because this ratio does not occur hardening of the cementitious material. The compression strength tests indicate that the characteristic the trace (1: 7), where the amount of used sludge is less than 5% has greater compression resistance trace (1: 8) and it shows a lower water absorption. The best results compressive strength occurred with the addition in amounts lower than 4%. , based on these results be noted that the sludge incorporation into such proportions makes the acceptable material for use in cementitious materials.

*Keywords:* sludge, mortar, sustainability, test specimens

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	MÉTODOS.....	5
3	ARTIGO 1.....	7
3.1	INTRODUÇÃO.....	7
3.2	METODOLOGIA.....	11
3.2.1	USO DO LODO NA PAVIMENTAÇÃO.....	11
3.2.2	USO DO LODO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	12
3.2.3	USO DO LODO EM CERÂMICA VERMELHA.....	13
3.3	RESULTADOS.....	15
3.3.1	USO DO LODO NA PAVIMENTAÇÃO.....	15
3.3.2	USO DO LODO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO.....	16
3.3.3	USO DO LODO EM CERÂMICA VERMELHA.....	17
3.4	CONCLUSÃO.....	20
3.5	REFERÊNCIAS.....	20
4	ARTIGO 2.....	24
4.1	INTRODUÇÃO.....	25
4.2	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.3.1	COLETA DA AMOSTRA DE LODO.....	29
4.3.2	SECAGEM DA AMOSTRA.....	29
4.3.3	CARACTERIZAÇÃO DO LODO.....	30



4.3.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS .....	31
4.3.5	DOSAGEM DO LODO .....	32
4.3.6	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS E CURA DA ARGAMASSA .....	33
4.3.7	ENSAIOS TECNOLÓGICOS .....	34
4.4	RESULTADOS .....	35
4.4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE JI-PARANÁ.....	35
4.4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LODO .....	37
4.4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS .....	39
4.4.4	ENSAIOS TECNOLÓGICOS .....	42
4.5	CONCLUSÃO.....	46
4.6	REFERÊNCIAS .....	47
5	DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6	REFERÊNCIAS .....	52

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2-1 Fluxograma do Estado da Arte .....	5
Figura 2-2 Fluxograma do estudo da substituição do lodo .....	6
Figura 3-1 Fluxograma da metodologia uso do lodo na pavimentação flexível .....	12
Figura 3-2 Fluxograma da metodologia uso do lodo na produção de cimento .....	13
Figura 3-3 Fluxograma da metodologia uso do lodo em Cerâmica Vermelha .....	15
Figura 3-4 Microestrutura do lodo de ETA.....	18
Figura 3-5 Amostras de cores de corpos cerâmicos (Amostra 1: 5% de lodo, Amostra 2: sem lodo, Amostra 3: 10% de lodo) .....	19
Figura 4-1 Localização da ETA de Ji-Paraná/RO .....	28
Figura 4-2 Fluxograma da metodologia do estudo.....	28
Figura 4-3 Coleta do lodo da ETA .....	29
Figura 4-4 Secagem, destorroamento e armazenamento do lodo.....	29
Figura 4-5 Amostras de lodo 1, 2, 3, 4 e 5 .....	30
Figura 4-6 Ensaio para determinação da matéria orgânica .....	31
Figura 4-7 Composição granulométrica da areia .....	32
Figura 4-8 Dosagem do lodo.....	33
Figura 4-9 Confeccões dos corpos de provas.....	33
Figura 4-10 Corpos de prova imersos no tanque com água, durante a cura .....	34
Figura 4-11 Prensa utilizada para os ensaios mecânicos.....	34
Figura 4-12 Fluxograma da produção de lodo da ETA de Ji-Paraná/RO .....	36
Figura 4-13 Sistema de Abastecimento de Água de Ji-Paraná/RO .....	37

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 3-1 Estudos do lodo na pavimentação .....	11
Tabela 3-2 Estudos do lodo na produção de cimento.....	12
Tabela 3-3 Estudos do lodo em Cerâmica Vermelha .....	14
Tabela 4-1 Composição química das amostras de lodo .....	37
Tabela 4-2 Variáveis para determinação da matéria orgânica .....	38
Tabela 4-3 Ensaio Granulométrico da areia .....	39
Tabela 4-4 Composição Química do Cimento CP IV 32 .....	41
Tabela 4-5 Resultado dos ensaios de determinação da resistência à compressão.....	42

**LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 4-1 Composição química do lodo .....	38
Gráfico 4-2 Análise granulométrica da areia .....	40
Gráfico 4-3 Composição Química do Cimento.....	41
Gráfico 4-4 Média da Resistência a compressão .....	44
Gráfico 4-5 Média da Absorção de Água.....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AWWARF - American Water Works Association Research Foundation
- CAERD – Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia
- CP – Corpo de Prova
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DRX- Difração de Raio X
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- EUA – Estados Unidos da América
- FARO – Faculdade de Rondônia
- FUCAPI – Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica
- IP – Índice de Plasticidade
- LP – Limite de Plasticidade
- MO – Matéria Orgânica
- NBR – Norma Brasileira
- USEPA – United States Environmental Protection Agency

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Gomes [1] entende-se por sistemas de abastecimento de água o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público.

Steel [2] confirma a definição de Gomes [1] quando estabelece que o sistema público de abastecimento de água se constitui num conjunto de obras e serviços, com a finalidade de produzir e distribuir água para uma população em qualidade e quantidade compatível com as suas necessidades, para fins de consumo doméstico, uso comercial, serviços públicos e de recreação, consumo industrial, segurança e outros usos.

Conforme Ceballo [3] o tratamento de água envolve o emprego de diferentes operações e processos unitários para adequar a água de diferentes mananciais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras.

Segundo Richter e Azevedo [4] para transformar uma água bruta em água potável são necessários uma série de fatores, como a escolha do manancial, o estudo físico-químico da água bruta e o tipo de tecnologia a ser utilizada para o tratamento e a purificação da água.

Para Tsutiya [5] a água coletada do manancial é levada à Estação de Tratamento de Água - ETA por meio de um sistema de captação que é constituído de estruturas e dispositivos para a sua retirada e destinação ao sistema de abastecimento. A maioria dos sistemas possuem estações elevatórias, que possuem a função de recalcar a água para a unidade seguinte ou aumentar a vazão e/ou pressão em adutoras ou redes de distribuição de água. As adutoras são canalizações que conduzem a água entre as unidades que precedem a rede de distribuição ou entre a captação e ETA. A ETA é constituída de unidades destinadas a tratar a água. Após ser

tratada, a água é encaminhada a um reservatório que regulariza as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condiciona as pressões na rede de distribuição. A rede de distribuição é responsável por fornecer água potável à disposição dos consumidores por meio de tubulações e órgãos acessórios.

Fadaneli [6] esclarece que a maioria das ETA's no Brasil são convencionais ou de ciclo completo, com unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. Nessas ETA's as impurezas presentes na água bruta captada encontram-se carregadas superficialmente com as cargas negativas, o que impede seu aglutinamento e remoção, por isso, é necessário a aplicação de coagulantes, realizada na unidade de mistura rápida, com o objetivo de agir de forma a neutralizar essas cargas, possibilitando a aproximação de partículas que deverão ser removidas no decantador ou flotador.

De acordo com Fadaneli [6] após a coagulação, é necessária agitação relativamente lenta, para que estes possam proporcionar encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos que seguem seu fluxo em direção aos decantadores onde, por ação da gravidade, precipitam, acondicionando-se no fundo, propiciando a clarificação do meio líquido. Em seguida ocorre a remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água através de um meio granular, durante a filtração, finalizando o processo de remoção de impurezas.

Tsutiya [7] esclarece que para transformar a água bruta em água potável para consumo humano são utilizados nas ETA's os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração, com a adição de componentes, formando resíduos que serão removidos na sedimentação e filtração, principalmente nos decantadores, sendo estes resíduos chamados de lodo de ETA.

Segundo Andreoli [8] os lodos gerados nos decantadores das ETA's são resultados dos processos e operação de coagulação/floculação das partículas presentes na água bruta. Essas partículas sofrem ação de reações químicas e operação física de formação de flocos que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou flotação. O material removido é retido em tanques por um certo tempo e disposto, quase sempre, em cursos d'água.

A quantidade e as características do lodo possuem variações de acordo com a natureza da água bruta, bem como dos processos unitários e produtos químicos utilizados no tratamento da água, Reali [9] e Richter [10].

Segundo Richter [10] os lodos são basicamente produtos da coagulação dos constituintes orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e suspensos na água bruta, com composição físico-química característica dos produtos utilizados no processo, principalmente na fase de coagulação, correção de pH e abrandamento para remoção da dureza. De modo geral, as características do lodo variam de acordo com a natureza das águas brutas, dos processos unitários e produtos químicos utilizados.

De acordo com Grandin [11] o lodo de ETA é composto de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro e manganês.

De acordo com Tsutya [7], a forma de disposição do lodo depende do teor de sólidos presentes no resíduo, de modo geral são utilizados para desaguamento do lodo os seguintes processos:

Secagem natural: leitos de secagem, lagoas de lodo e

Desaguamento mecânico: filtro prensa de esteira, centrífuga e filtro prensa de placa.



Diante do exposto o presente estudo tem o objetivo de avaliar a possibilidade de utilizar o lodo de uma estação de tratamento de água em substituição parcial da areia na obtenção de argamassa de assentamento.

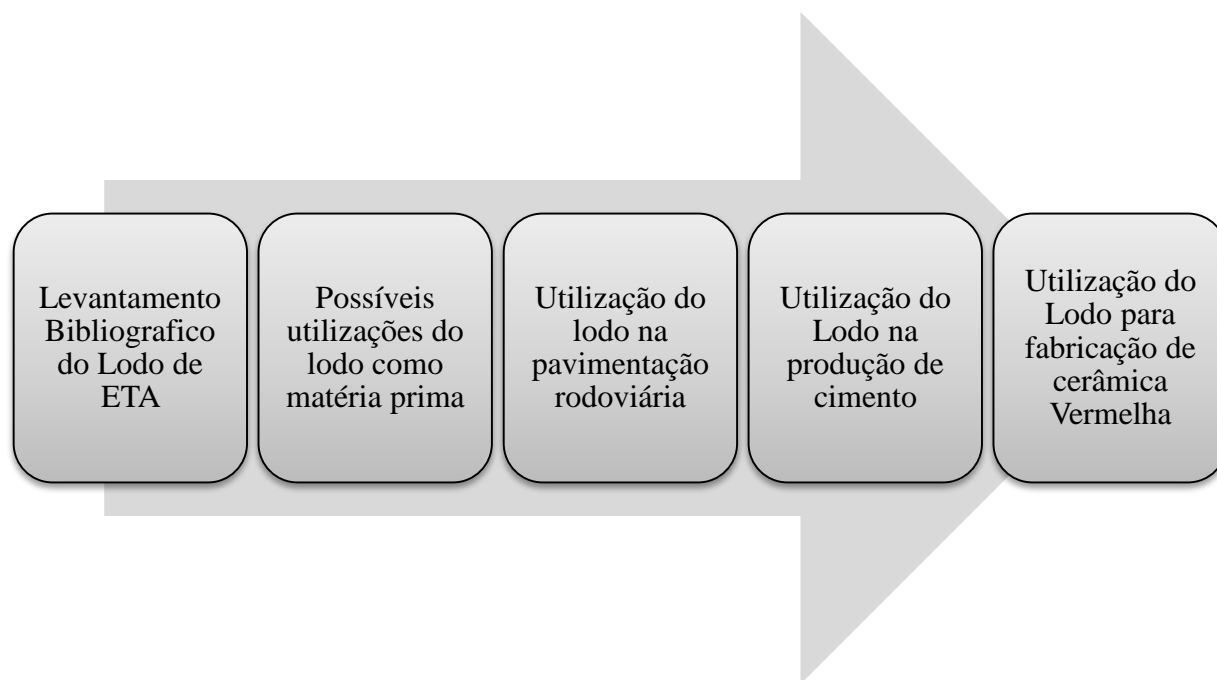
O estudo utilizou o lodo da ETA de Ji-Paraná e se justifica pelo fato de que atualmente o lodo não possui uma destinação adequada, o descarte é realizado sem tratamento em uma vala a céu aberto a aproximadamente 500 metros a jusante da captação de água bruta causando um grande impacto ambiental.

O trabalho foi dividido em 5 (cinco) etapas. No capítulo 1 (um) é apresentada a introdução contendo uma breve revisão bibliográfica do tema, no capítulo 2 (dois) é exposto os métodos utilizados para a produção do presente estudo, em seguida, no capítulo 3 (três) tem-se o artigo denominado “A questão do aproveitamento de resíduos do tratamento de água – Estudo da arte”, artigo aceito no IV Encontro Nacional de Resíduos de Construção Civil. No Capítulo 4 (dois) é apresentado o segundo artigo denominado Uso do Resíduo da Estação de Tratamento de Água de Ji-Paraná/RO como Material Cimentício. E a etapa final, capítulo 5 (cinco) apresenta a discussão e considerações finais do trabalho.

## 2 MÉTODOS

Para a realização do presente estudo primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica do assunto que resultou no artigo apresentado no primeiro capítulo dessa dissertação, o referente artigo foi aceito para o IV Encontro Nacional de Resíduos de Construção Civil, nesse artigo foi realizado um levantamento bibliográfico do assunto para em seguida identificar-se possíveis utilizações do lodo como substituição de matérias primas para produção de pavimentação rodoviária, produção de cimento e fabricação de cerâmica vermelha, conforme fluxograma a seguir.

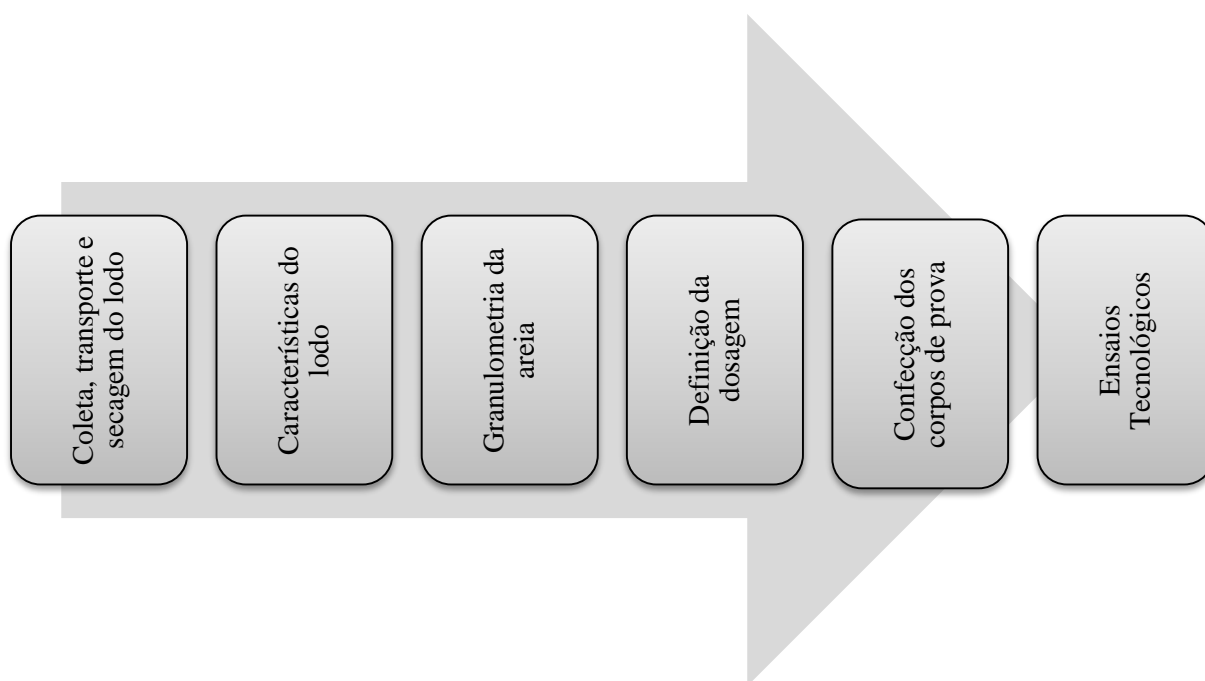
Figura 2-1 Fluxograma do Estado da Arte



Na sequência foi definida a delimitação da área de estudo aonde foi disponibilizado pela Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia o lodo proveniente da ETA de Ji-Paraná/RO para a realização dos estudos.

Os referidos estudos estão apresentados no capítulo 4 aonde foi verificada a substituição parcial do lodo da ETA de Ji-Paraná no agregado miúdo utilizado na produção de argamassa de assentamento. A metodologia utilizada nesse estudo seguiu as seguintes etapas: primeiramente foi realizada a coleta, o transporte e a secagem do lodo, após foram realizados ensaios para a determinação das características do lodo e da granulometria da areia utilizada no estudo, na sequencia ocorreu a definição do traço da argamassa, após foram moldados os corpos de prova de acordo com as recomendações da norma e realizados os ensaios tecnológicos para enfim analisar os resultados obtidos, conforme fluxograma a seguir.

Figura 2-2 Fluxograma do estudo da substituição do lodo



### 3 ARTIGO 1

## A QUESTÃO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO TRATAMENTO DE ÁGUA – ESTADO DA ARTE

**Maria Angelica Foes da Rocha <sup>a</sup>, Adalena Kennedy Vieira, Ph.D <sup>b</sup>, Raimundo Kennedy Vieira, Ph.D <sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Mestranda do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Amazonas, Porto Velho, Rondônia, Brasil - [foesrocha@brturbo.com.br](mailto:foesrocha@brturbo.com.br)

<sup>b</sup> Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil - [adalenakennedy@gmail.com](mailto:adalenakennedy@gmail.com)

<sup>c</sup> Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil - [kennedy71@gmail.com](mailto:kennedy71@gmail.com)

### RESUMO

Os resíduos sólidos provenientes das estações de tratamento de água (ETA's) constituem um problema, em relação ao seu tratamento e disposição final, a ser enfrentado pelas companhias de saneamento.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão de literatura, apresentando uma visão das possibilidades de utilização desses resíduos sólidos como matéria prima para a fabricação de novos produtos, estabelecendo alternativas ecologicamente corretas para a disposição desses resíduos.

*Palavras-chave:* lodo, reciclagem, produção de cimento, solo-cimento, cerâmica vermelha, pavimentação

### 3.1 INTRODUÇÃO

A água destinada ao consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade, nos Estados Unidos os parâmetros são definidos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 1905) [1] e no Brasil através da Portaria nº 2914 [2], do Ministério das Cidades. Considerando que a qualidade de água dos mananciais disponíveis para o atendimento a referida norma não atende aos padrões mínimos impostos pela legislação, a água

necessita passar por um conjunto de processos e operações para garantir a qualidade necessária para o fornecimento de água a população.

Para se realizar o tratamento da água, há a necessidade de se adicionar produtos químicos visando remover o material em suspensão, tendo como subprodutos alguns resíduos sólidos gerados nos processos de decantação e lavagem de filtros. Esses resíduos sólidos provenientes do tratamento de água são denominados de lodos e são constituídos de resíduos orgânicos e inorgânicos e de produtos químicos que são adicionados durante o processo de tratamento.

Conforme AWWA [3] esse resíduo proveniente da ETA tem características mais parecidas com as do solo do que os lodos das estações de tratamento de esgoto.

Segundo Hoppen [4] a quantidade de lodo depende da qualidade físico-química das águas bruta e tratada, dos coagulantes bem como dos produtos químicos utilizados no processo de sua potabilização. O lodo não vem apenas do tratamento de água para abastecimento, mas também é gerado no tratamento de esgoto. De acordo com Rodrigues [5] nos Estados Unidos (EUA) e países da União Europeia a produção total de lodo de esgoto se aproxima de 17 milhões de toneladas de sólidos secos por ano (7MT nos EUA 10 milhões de toneladas em UE), com sua disposição final, na maioria dos casos, em aterros sanitários.

De acordo com AWWARF [6] a disposição final dos lodos das ETA's dos EUA em sua maioria são para a utilização na agricultura e em redes de esgotos.

Conforme Verrelli [7] as propriedades de lodo variam ao longo do tempo em uma estação de tratamento de água (ETA) e também diferem entre ETA's, em função da variação na qualidade da água bruta e pelas diferenças ocorridas na etapa de coagulação em função da qualidade da água bruta.

De acordo com Reis [8] o lodo gerado nas estações de tratamento de água constitui um problema em relação ao seu tratamento e disposição final, sendo uma prática comum no Brasil a sua disposição de forma ambientalmente inadequada em curso d'água próximo as estações de tratamento, o que acarreta um aumento da quantidade de sólidos, assoreamento do manancial, aumento da cor e da turbidez, liberação de odores, entre outros problemas, gerando um grande impacto ambiental no manancial.

Essa prática inadequada não atende a norma da Associação Brasileira de Normas técnicas - NBR 10.004 [9], a qual classifica o lodo gerado nas estações como resíduos sólidos pertencentes a Classe II – não perigoso e determina que esse tipo de resíduo não pode ser lançado nos corpos d'água sem o devido tratamento.

Chen [10] afirma que a disposição do lodo em aterros sanitários está sendo substituído por outras práticas, como a incineração e estabilização do lodo, porém estes processos de tratamento são muito caros.

Nesse sentido, Reis [8] afirma que o gerenciamento adequado dos sistemas de tratamento de águas para abastecimento público deve abranger todos os problemas relacionados à proteção dos mananciais, qualidade dos produtos químicos empregados e as consequências do descarte sistemático desses resíduos.

Conforme Fadanelli [11], devido aos danos causados pela disposição inadequado dos lodos, estão sendo estudadas aplicações para o lodo das estações de tratamento de água, levando-se em consideração as suas características. O lodo pode servir para a fabricação de solo cimento, materiais cerâmicos, pigmentos para argamassas e revestimentos, aditivo para agregado, pavimentação de estradas, tijolos refratários, agente plastificador em cerâmica e na produção de cimento.

Para caracterizar o lodo a AWWARF [6] recomenda os parâmetros para a caracterização de lodos de ETA's que devem ser atendidos para sua utilização benéfica.

Segundo os estudos de Kizienievic [12] o lodo das estações de tratamento de água é considerado como um material de desperdício, no entanto, estes resíduos contêm uma série de produtos químicos úteis, tais como ferro, cálcio, silício.

De acordo com Caniani [13] nos períodos de 90 em diante, a substituição de matérias-primas naturais, como novos materiais alternativos, que adquirem um valor econômico, energético e ambiental, ganha cada vez mais importância.

Kizienievic [12] argumenta que a utilização de resíduos em uma produção ajuda a economizar matérias-primas tradicionais, energia, recursos naturais e diminuiu o impacto sobre o meio ambiente.

De acordo com os pesquisadores citados nesse artigo vários estudos têm-se dedicado ao aproveitamento desses resíduos, obtendo resultados bastante relevantes, sendo que as principais razões que motivam o reaproveitamento dos lodos das ETA's são o esgotamento das reservas de matérias-primas, o crescente volume de resíduos sólidos gerados, pondo em risco a saúde pública, ocupando áreas e degradando os recursos naturais e, a necessidade de compensar o impacto ambiental causado pela disposição irregular dos resíduos.

No Brasil o seu aproveitamento ainda não se tornou uma prática comum para os responsáveis pela geração desse tipo de resíduo, o seu aproveitamento ainda possui índices insignificantes se comparados aos volumes produzidos.

De acordo com Hoppen [4] atualmente a busca por alternativas econômicas e tecnicamente viáveis, além de vantajosas para a destinação final do lodo de ETA, é um grande desafio, sendo que sua utilização pode ser considerada uma oportunidade para aumentar a

receita das empresas de saneamento e principalmente a chance de reduzir custos e impactos ambientais associados a esse resíduo.

Com base no exposto o objetivo deste estudo é apresentar uma revisão de literatura onde serão apresentados possíveis usos de resíduos sólidos de ETA's.

## 3.2 METODOLOGIA

Para a elaboração desse artigo foi realizado um levantamento bibliográfico de estudos realizados por outros autores para a compilação de propostas para utilização de diferentes tipos de lodos de ETA's como matéria prima a ser utilizada nas seguintes áreas: pavimentação rodoviária, na produção de cimento e na fabricação de cerâmica vermelha.

### 3.2.1 USO DO LODO NA PAVIMENTAÇÃO

De acordo com a literatura analisada os seguintes autores pesquisaram a utilização do lodo na pavimentação:

Tabela 3-1 Estudos do lodo na pavimentação

<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Fadanelli [11]	Estudo da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo Cimento para Pavimentação Rodoviária
Ucker [14]	Utilização do lodo gerado em indústria para a fabricação de argamassa.
Marinho [15]	Avaliação do uso de lodo de ETE estabilizado com emulsão asfáltica em base e sub-base de pavimentos rodoviários.

O solo cimento é obtido através da mistura homogênea de solo, cimento e água em proporções adequadas que exigem um teor de umidade que conduz a uma massa específica seca máxima. Após compactação e cura úmida, ele resulta em um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. Os solos arenosos são mais apropriados para essa finalidade já que se enquadram com maior facilidade nas exigências da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a



qual sugere para que a quantidade de cimento usada no processo de mistura varie entre 5% e 10% do peso do solo [11].

Nos estudos realizados por Fadanelli [11] onde foi utilizado o lodo da ETA de Pitangui, em Ponta Grossa, Paraná, a metodologia utilizada para avaliar a possibilidade de utilização do lodo de ETA está demonstrada no fluxograma apresentado a seguir.

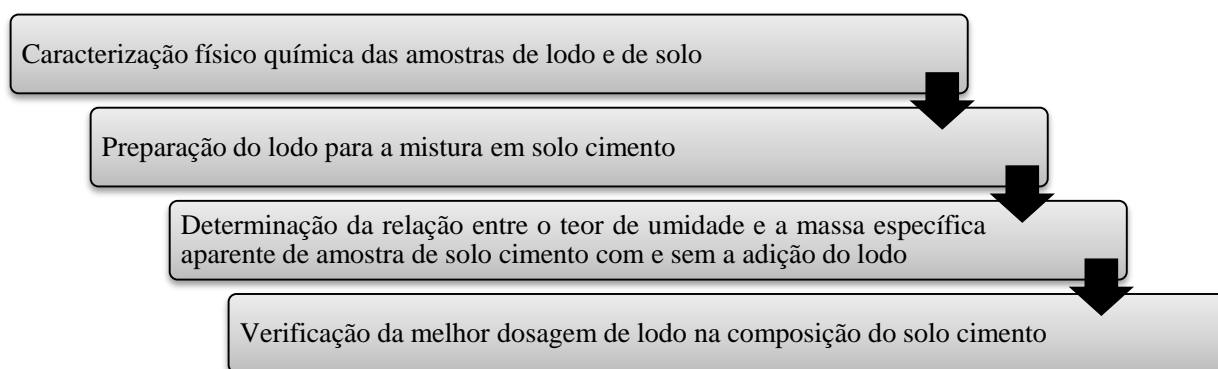


Figura 3-1 Fluxograma da metodologia uso do lodo na pavimentação flexível

### 3.2.2 USO DO LODO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO

De acordo com a literatura pesquisada vários estudos foram realizados visando verificar o uso do lodo na produção de cimento, conforme tabela abaixo:

Tabela 3-2 Estudos do lodo na produção de cimento

<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Rodríguez [5]	Re-use of drinking water treatment plant (DWTP) sludge: Characterization and technological behaviour of cement mortars with atomized sludge additions
Chen [10]	Reuse of water purification sludge as raw material in cement production
Tsutiya [16]	Aproveitamento e Disposição final de lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo
Sahu [17]	Sustainable Use of Water Treatment Plant Sludge and Fly Ash in Civil Engineering Application
Yan [18]	Reuse of de-inking sludge from wastepaper recycling in cement mortar products
Yan [19]	Properties of cement mortar incorporating de-inking waste-water from waste paper recycling
Yen [20]	Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges

Segundo Chen [10] para a fabricação do cimento são utilizadas grandes quantidades de matéria prima (calcário, argila, etc) e energia, aumentando as emissões de gases do efeito estufa. A possibilidade de se utilizar o lodo de ETA's em sua fabricação pode reduzir o consumo desses insumos, podendo diminuir o custo de fabricação além da poluição causada na fabricação.

De acordo com Yen [20] o aumento do custo e do esgotamento de insumos tem forçado a indústria de cimento a rever a logística de fornecimento de matéria-prima. A composição química da maioria dos resíduos de ETA's contém  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , que são também os principais compostos químicos das matérias-primas do cimento. Por este motivo, segundo Yen [20], em teoria, os resíduos de ETA's podem ser usados como substituto para as matérias-primas utilizadas na produção de cimento.

Para esta revisão foi verificado os estudos realizados por Chen [10], utilizando lodo de uma empresa de abastecimento de água da China.

O estudo utilizou a seguinte metodologia.

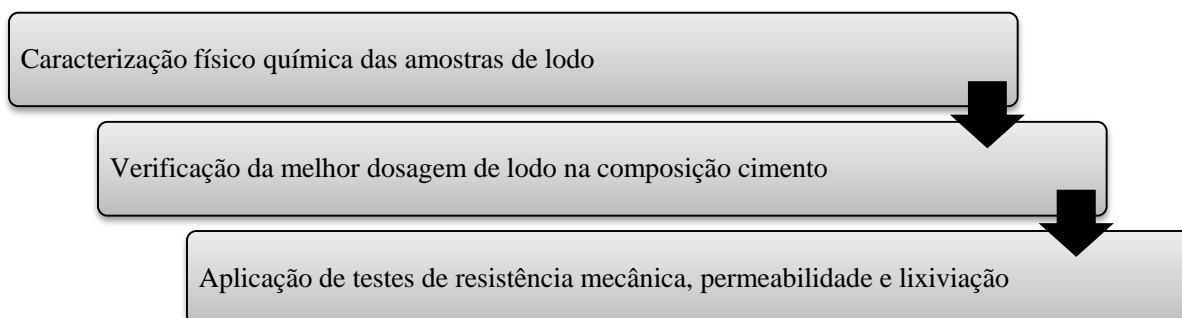


Figura 3-2 Fluxograma da metodologia uso do lodo na produção de cimento

### 3.2.3 USO DO LODO EM CERÂMICA VERMELHA

Conforme a pesquisa de literatura realizada os seguintes estudos foram desenvolvidos visando verificar o uso do lodo na produção de cerâmica vermelha, conforme tabela a seguir:

Tabela 3-3 Estudos do lodo em Cerâmica Vermelha

<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Kizinievic [12]	Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products
Hegazy [21]	Brick Manufacturing From Water Treatment Sludge And Rice Husk Ash
Huang [22]	Mixing Water Treatment Residual with Excavation Waste Soil in Brick and Artificial Aggregate Making
Hegazy [23]	Reuse of water treatment sludge and silica fume in brick manufacturing
Victoria [24]	Characterisation and performance evaluation of water works sludge as bricks material
Ramadan [25]	Reuse of Water Treatment Plant Sludge in Brick Manufacturing
Chiang [26]	Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks
Oliveira [27]	Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica Vermelha,
Monteiro [28]	Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic

De acordo com Oliveira [27] a indústria vermelha é altamente promissora para absorver resíduos poluentes, pois as massas argilosas para cerâmica vermelha são tolerantes e aceitam a presença de materiais residuais de diversos tipos e origens, mesmo quando adicionados em quantidades significantes.

Por este motivo, em todo o mundo, diferentes resíduos sólidos tem sido objeto de estudo como insumo para a fabricação de cerâmica vermelha.

Segundo Monteiro [28] a etapa de queima utilizada na fabricação de tijolos completa a decomposição de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos resíduos.

Conforme os estudos de Kizinievic [12] a quantidade de lodo de ETA utilizado na produção de produtos cerâmicos está relacionada com as propriedades do lodo e a temperatura de queima dos produtos cerâmicos.

Nesta revisão de literatura foram utilizados os estudos de Oliveira [27] e de Monteiro [28], ambos avaliaram o lodo proveniente da ETA de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, e os estudos de Kizinievic [12] realizados na Lituânia.

A metodologia utilizada nos estudos é apresentada no fluxograma a seguir.

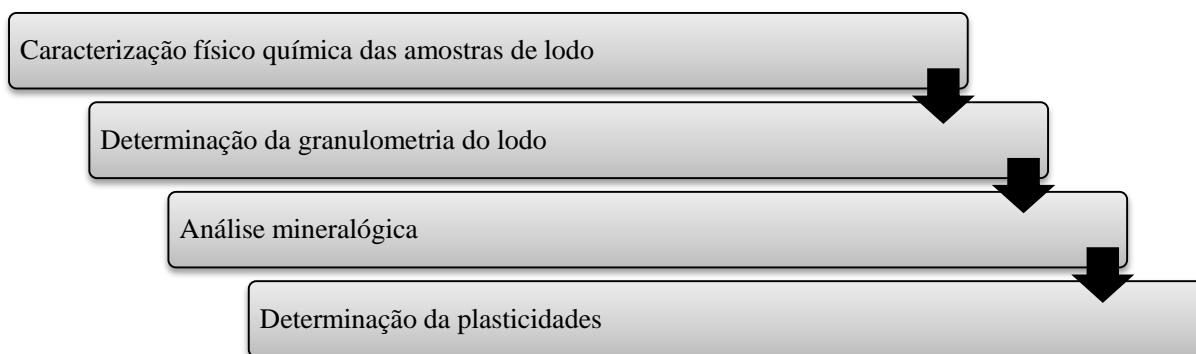


Figura 3-3 Fluxograma da metodologia uso do lodo em Cerâmica Vermelha

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 USO DO LODO NA PAVIMENTAÇÃO

Segundo os estudos de Fadanelli [11] a análise granulométrica do lodo estudado apresentou grande quantidade de areia e silte, e o solo possuía em sua composição uma enorme porcentagem de areia, sendo que o solo apresenta uma graduação mais uniforme e o lodo uma larga distribuição de tamanho de partículas.

A análise do teor de umidade das amostras do estudo de Fadanelli [11] mostrou que o lodo, mesmo após a secagem à temperatura ambiente, apresentou grande porcentagem de água.

No referido estudo os resultados que caracterizam os limites de consistências demonstraram que o teor de umidade para o qual o lodo perde a capacidade de fluir é maior que o do solo e o índice de plasticidade mostrou que o solo e o lodo são considerados fracamente plásticos.

O estudo de identificação de elementos químicos contidos na amostra de lodo de Fadanelli [11] observou uma grande quantidade de alumínio, resultante do coagulante utilizado na ETA.

Fadanelli [11] também concluiu que à medida que aumentou o teor de lodo na mistura de solo cimento, o valor da massa específica seca máxima encontrada diminuiu em relação ao ensaio sem adição do mesmo, comprovando que assim como a densidade do lodo, sua massa específica também foi menor do que a do solo, apresentando então maior índice de vazios devido a porcentagem higroscópica do mesmo.

Fadaneli [11] percebeu que quando se adiciona lodo à mistura do cimento, há uma diminuição da qualidade do conjunto, aumentando o índice de retração volumétrica, afetando sua durabilidade, comprovando que o resíduo não é indicado para pavimentação rodoviária.

### 3.3.2 USO DO LODO NA PRODUÇÃO DE CIMENTO

De acordo com o estudo de Chen [10] a composição do lodo indicou a presença de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e em menor quantidade  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$ .

O lodo contribui positivamente para a resistência a compressão nos estudos de Chen [10], sendo que foi utilizado entre 4 e 7% de lodo seco na dosagem.

Os metais pesados (Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) encontrados nos corpos de provas de Chen [10] foram quase completamente incorporados ao cimento, não apresentando nenhuma ameaça imediata ao meio ambiente.

Os estudos de Chen [10] para a utilização do lodo como matéria prima na produção de cimento concluíram que, em função de seu uso diminuir a extração de minérios nas jazidas e de reduzir o consumo de outros insumos, como agregados e cimento, seu emprego é viável técnica e ambientalmente como substituto de material silicoso.

### 3.3.3 USO DO LODO EM CERÂMICA VERMELHA

Os estudos de Oliveira [27] e de Monteiro [28] obtiveram como resultado que a composição química do lodo da ETA é constituído basicamente de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sendo muito semelhante as características de argilas utilizadas nas cerâmicas da região de Campos dos Goytacazes.

A análise química do lodo dos estudos de Kizinievic [12] mostrou que o seu principal componente é  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , bem como pequenas quantidades de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaO}$ .

Oliveira [27] e de Monteiro [28] verificaram que o lodo apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas, por outro lado o lodo apresentou um tamanho de partículas mais fina quando comparada a da argila, sendo uma das características mais importante para o processamento de cerâmica vermelha.

De acordo com Oliveira [27] e de Monteiro [28] os estudos indicaram que o lodo apresentou baixos valores de matéria orgânica (0,95%) o que contribui para aumentar a plasticidade do resíduo.

Essa constatação também foi verificada nas investigações microscópicas de lodo de Kizinievic [12] que mostraram que o lodo consiste de vários tamanhos de partículas com a forma esférica e unidos em conglomerados. Segundo os estudos, a densidade destes conglomerados não está elevada, ocorrendo uma grande quantidade de áreas ocas entre os conglomerados como mostrado na Figura 3.4 a seguir.

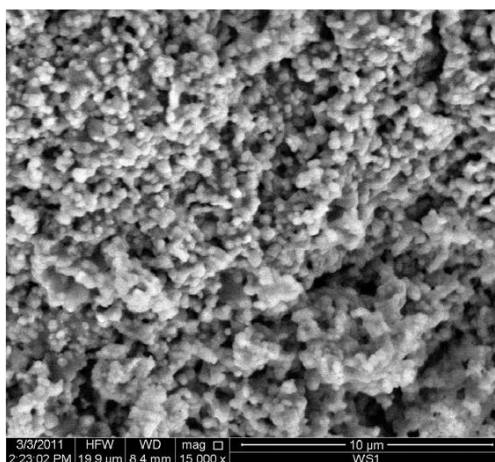


Figura 3-4 Microestrutura do lodo de ETA  
Fonte: Kizinievic [12]

De acordo com os estudos de Oliveira [27] o valor do índice de plasticidade encontrado no lodo da ETA forma uma massa de consistência plástica, sendo o limite de plasticidade (LP) de 53% e o índice de plasticidade (IP) de 20%, indicando que o resíduo de ETA pode ser usado na fabricação de cerâmica vermelha, visto que a massa argiloso usada em cerâmica devem apresentar valor de IP compreendido entre  $10 < IP < 35\%$ . Porém o LP está muito acima da faixa recomendada para a cerâmica vermelha, que deve estar entre  $LP = 18 - 30\%$ . Essa característica fará com que o lodo da ETA certamente apresente dificuldade no processo de secagem, resultando em alta retração e defeitos nos corpos cerâmicos. Apesar dessa dificuldade Oliveira [27] considerou que o resíduo pode ser utilizado quando adicionado em quantidades moderadas.

Oliveira [27] esclarece que as formulações argilosas utilizadas na fabricação de cerâmica vermelha são do tipo monocomponente, somente argila, e nestas formulações busca-se obter condições apropriadas de plasticidade no sentido de propiciar trabalhabilidade e resistência mecânica após a queima.

Segundo Oliveira [27] e de Monteiro [28] em relação à composição mineralógica do lodo, ele apresentou composição similar a argila com a presença caulinita, quartzo, sílica e gibsita.

Os estudos de Kizinievic [12] constaram que a utilização do lodo pode alterar a cor dos corpos cerâmicos (Figura 3.5), demonstrando que o lodo tem influências físicas e químicas durante o processo de fabricação.

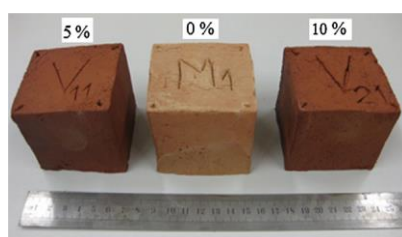


Figura 3-5 Amostras de cores de corpos cerâmicos (Amostra 1: 5% de lodo, Amostra 2: sem lodo, Amostra 3: 10% de lodo)

Fonte: Kizinievic [12].

Nos estudos de Monteiro [28] as misturas foram preparadas com 0, 3, 5 e 10% de lodo incorporados na massa cerâmica e os resultados indicaram que o aumento da incorporação de lodo reduziu a resistência mecânica da amostra.

Oliveira [27] e Monteiro[28] concluem que o lodo da estação de tratamento de água de Campos dos Goytacazes pode ser utilizado como matéria prima na fabricação de cerâmica vermelha, no entanto as incorporações devem ser em baixas quantidades para evitar a danos no processamento e na qualidade final do produto.

Os estudos de Kizinievic [12] concluem que o lodo da ETA é uma matéria prima ecológica e econômica, sendo adequada para ser utilizada na produção de produtos cerâmicos devido a sua influência nas propriedades físicas, mecânicas e estruturais da cerâmica.

De acordo com Kizinievic [12] os estudos confirmaram que o lodo, devido a presença de  $Fe_2O_3$  em sua composição, é um intensivo aditivo de tingimento para os corpos cerâmicos,



sendo que mesmo em pequenas quantidades, 5% de lodo, tem a capacidade de tingir o corpo cerâmico.

### 3.4 CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica demonstrou que o lodo gerado nas ETA's constitui um grave problema ambiental, sendo necessário buscar alternativas para seu uso, visando minimizar os impactos causados por sua disposição muitas vezes inadequadas nos solos e em corpos hídricos.

Esta revisão bibliográfica demonstrou que para a determinação de possíveis usos de lodos provenientes de ETA's é necessário, em primeiro lugar, realizar a caracterização do lodo que se pretende trabalhar, com a finalidade de conhecer suas propriedades, aptidões e dificuldades.

Outro fator importante para deliberação de possíveis usos de lodos de ETA's é a determinação da melhor dosagem de lodo a ser utilizada como insumo para garantir a qualidade e durabilidade necessária ao produto final e a realização de ensaios tecnológicos que garantam a qualidade do uso.

### 3.5 REFERÊNCIAS

<sup>[1]</sup>**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** APHA (American Public Health Association), Washington, 1995.

<sup>[2]</sup>**Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914:** Padrões de Potabilidade da Água, Brasília, 2011.

<sup>[3]</sup>AWWA – American Water Works Association. **An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals.** USA: AWWARF, 1995.

[4]HOPPEN, C.; et al. **“Uso de Lodo de Estação de Tratamento de Água Centrifugado em Matriz de Concreto de Cimento Portland para reduzir o Impacto Ambiental”**, Quim. Nova, Vol. 29, Nº 1, p. 79-84, 2006.

[5]RODRÍGUEZ, N. H.; et al. **Re-use of drinking water treatment plant (DWTP) sludge: Characterization and technological behaviour of cement mortars with atomized sludge additions**, Cement and Concrete Research 40 (2010) p. 778 - 786.

[6]AWWARF. **Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals**. American Water Works Association Research Foundation, 1999.

[7]VERRELLI, D.I; et al. **Assessing dewatering performance of drinking water treatment sludges**, Water Research 44 (2010) p.1542 - 1552.

[8]REIS, E. L. T. dos; et al. **Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água**, Quim. Nova, Vol. 30, Nº 4, 865-872, 2007.

[9]**Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 - Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

[10]CHEN, H. ET al. **Reuse of water purification sludge as raw material in cement production**, Cement and Concrete Research 32 (2010) p.436 - 439.

[11]FADANELLI, L. E. A ; et al. **Estudo da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo Cimento para Pavimentação Rodoviária**, Revista de Engenharia e Tecnologia, V. 2, nº 2, 2010.

[12]KIZINIEVIC, O, et al. **Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products**, Construction and Building Materials 41 (2013) p.464-473.

[13]CANIANI, S.; et al. **Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications**, Waste Management 33 (2013) p. 1461 – 1468.

[14]UCKER, F. E., et al. **Utilização do lodo gerado em indústria para a fabricação de argamassa**, Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 106-114, 2010.

[15]MARINHO, P.G., et al. **Avaliação do uso de lodo de ETE estabilizado com emulsão asfáltica em base e sub-base de pavimentos rodoviários**, 42ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e o 16º Enacor (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária), 2013.

[16]TSUTIYA, M.T., et al. **Aproveitamento e disposição final de lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo**, 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001.

[17]SAHU, V. et al, **Sustainable Use of Water Treatment Plant Sludge and Fly Ash in Civil Engineering Application**, International Journal of Civil Engineering and Building Materials, Vol. 3 N.3 2013.

[18]YAN, S., et al. **Reuse of de-inking sludge from wastepaper recycling in cement mortar products**, Journal of Environmental Management 92, 2085e2090, 2011.

[19]YAN, S., et al. **Properties of cement mortar incorporating de-inking waste-water from waste paper recycling**, Construction and Building Materials 29, 51–55, 2012.

[20]YEN, C. L.; et al. **Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges**, Chemosphere 84 (2011) p. 220 - 226.

[<sup>21</sup>]HEGAZY, B.E.E, et al. **Brick Manufacturing From Water Treatment Sludge And Rice Husk Ash**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(3): 453-461, 2012.

[<sup>22</sup>]HUANG, C, et al. **Mixing Water Treatment Residual with Excavation Waste Soil in Brick and Artificial Aggregate Making**, Journal of Environmental Engineering, 131(2): 272-277, 2005.

[<sup>23</sup>]HEGAZY, B.E.E, et al. **Reuse of water treatment sludge and silica fume in brick manufacturing**, Journal of American Science, 2011

[<sup>24</sup>]VICTORIA, A.N. **Characterisation and performance evaluation of water works sludge as bricks material**, I International Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 3, N. 3, 2013.

[<sup>25</sup>]RAMADAN, M. O. et al. **Reuse of Water Treatment Plant Sludge in Brick Manufacturing**, Journal of Applied Sciences Research, 4(10): 1223-1229, 2008.

[<sup>26</sup>]CHIANG, et al. **Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks**, Journal of Hazardous Materials 171, 76–82, 2009.

[<sup>27</sup>]OLIVEIRA, E. M. S.; et al. **Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica Vermelha**, Cerâmica, V. 50, nº 316, São Paulo, 2004.

[<sup>28</sup>]MONTEIRO, S. N.; et al. **Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic**, Construction and Building Materials 22 (2008) p.1281 – 1287.

#### 4 ARTIGO 2 USO DO RESÍDUO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE JI-PARANÁ/RO COMO MATERIAL CIMENTÍCIO

**Maria Angelica Foes da Rocha <sup>a</sup>, Adalena Kennedy Vieira, Ph.D <sup>b</sup>, Raimundo Kennedy Vieira, Ph.D <sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Mestranda do Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Amazonas, Porto Velho, Rondônia, Brasil - [foesrocha@brturbo.com.br](mailto:foesrocha@brturbo.com.br)

<sup>b</sup> Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil - [adalenakennedy@gmail.com](mailto:adalenakennedy@gmail.com)

<sup>c</sup> Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil - [kennedy71@gmail.com](mailto:kennedy71@gmail.com)

#### **RESUMO**

Os resíduos sólidos provenientes das estações de tratamento de água (ETA's) constituem um problema, em relação ao seu tratamento e disposição final, a ser enfrentado pelas companhias de saneamento. Desta forma o objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de utilizar o lodo da estação de tratamento de água de Ji-Paraná /RO como agregado para confecção de material cimentício, com o intuito de buscar um destino para o lodo produzido no tratamento da água e reduzir a utilização de insumos minerais utilizados na fabricação de argamassa de assentamento. O estudo consistiu na delimitação da área de estudo para em seguida aplicar a metodologia do estudo que consistiu em: coleta, secagem e caracterização do lodo e do agregado miúdo, definição do dosagem do lodo, confecção dos corpos de prova, cura do material cimentício e aplicação de ensaios tecnológicos. Foram utilizados no estudo a adição de 1, 2, 3, 4 5% de lodo como substituto do agregado miúdo nos traços 1:7 e 1:8 (cimento e areia). Os resultados indicaram que a composição química do lodo é muito próxima a composição do cimento e que os melhores resultados dos ensaios tecnológicos foram alcançados na adição de 1, 2 e 3% de lodo no traço 1:7.

*Palavras-chave:* reciclagem, lodo da estação de tratamento de água, argamassa.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A água destinada ao consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade da lei Safe Drinking Water Act (SDWA), administrada pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e seus parceiros, USEPA [1].

Conforme Victoria [2] as estações de tratamento de água (ETA) removem as impurezas presentes na água utilizando diferentes produtos químicos para garantir os padrões de qualidade. O subproduto do processo de purificação é chamado de lodo e sua composição e propriedades depende da qualidade da água do manancial e do processo de tratamento utilizado. O lodo é um subproduto inevitável no processo de tratamento de água, Huang [3].

El-Didamony [5] esclarece que os principais constituintes inorgânicos no lodo são  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Silva [4] afirma que as companhias de abastecimento de água se preocupam com a proteção dos mananciais e não estão se preocupando com corpos receptores de suas ETA's.

De acordo com AWWA [6] os resíduos gerados em ETA's podem ser divididos em:

- Resíduos gerados durante processos de tratamento de água visando a remoção de cor e turbidez. Em geral, os resíduos produzidos englobam os lodos gerados nos decantadores e a água de lavagem dos filtros;
- Resíduos gerados durante o processo de abrandamento;
- Resíduos gerados em processos de tratamento avançados visando a redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, o carvão ativado em pó saturado;
- Resíduos gerados durante processos visando à redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, como processo de membrana (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração).

O lodo gerado nas estações de tratamento de água constitui um problema em relação ao seu tratamento e disposição final. De acordo com AWWARF [7] a disposição final dos lodos das ETA's dos EUA em sua maioria são para a utilização na agricultura e em redes de esgotos.

A disposição do lodo em aterros sanitários está sendo substituído por outras práticas, como a incineração e estabilização do lodo, porém estes processos de tratamento são muito caros, Chen [8]. Desta forma, estão sendo estudadas aplicações para o lodo das estações de tratamento de água, Victoria [2].

De acordo com Ucker [9], Marinho [10], Tsutiya [11], Sahu [12], Yen [13], Rodríguez [14], Hegazy [15], Huang [3], Victoria [2], Ramadan [16], Chiang [17] vários estudos têm-se dedicado ao aproveitamento desses resíduos, obtendo resultados bastante relevantes, sendo que as principais razões que motivam o reaproveitamento dos lodos das ETA's são o esgotamento das reservas de matérias-primas, o crescente volume de resíduos sólidos gerados, colocando em risco a saúde pública, ocupando áreas e degradando os recursos naturais e, a necessidade de compensar o impacto ambiental causado pela disposição irregular dos resíduos.

Segundo Chen [8] para a fabricação do cimento são utilizadas grandes quantidades de matéria prima (calcário, argila, etc) e energia, aumentando as emissões de gases do efeito estufa. A possibilidade de se utilizar o lodo de ETA's pode reduzir o consumo desses insumos, podendo diminuir o custo de fabricação além da poluição causada na fabricação.

De acordo com Yen [13] o aumento do custo e do esgotamento de insumos tem forçado a indústria de cimento a rever a logística de fornecimento de matéria-prima. A composição química da maioria dos resíduos de ETA's contém  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ . Por este motivo, em teoria, os resíduos de ETA's podem ser usados como substituto para as matérias-primas utilizadas na produção de cimento.

Com base no exposto o objetivo desse estudo é avaliar a utilização do lodo da estação de tratamento de água de Ji-Paraná /RO como material cimentício, incorporando o lodo como componente da argamassa em substituição parcial da areia.

A incorporação do lodo de Ji-Paraná em argamassa proporcionará a redução do impacto ambiental causada pela disposição final do lodo e reduzirá a demanda de insumos de recursos minerais utilizadas na fabricação do material cimentício, atendendo ao que preconiza o conceito de desenvolvimento sustentável e reduzindo o custo da fabricação do material cimentício.

A estruturação do trabalho consiste na apresentação dos materiais e métodos utilizados para alcançar o objetivo, onde será apresentada a representação esquemática bem como os passos necessários para a realização do estudo, a seguir tem-se os resultados obtidos nos ensaios tecnológicos realizados para a verificação da possibilidade de utilizar o lodo como argamassa de assentamento e garantir a qualidade do seu uso e ao final são apresentadas as conclusões do estudo.

#### 4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho será baseado nos estudos realizados com o lodo da estação de tratamento da água do município de Ji-Paraná, localizado a 377 km da capital do Estado de Rondônia. As figuras a seguir apresentam a localização da área de estudo.





Figura 4-1 Localização da ETA de Ji-Paraná/RO  
Fonte: Nunes [18]; Google Maps [19]

#### 4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado no trabalho experimental desta pesquisa foi dividido nas seguintes etapas:

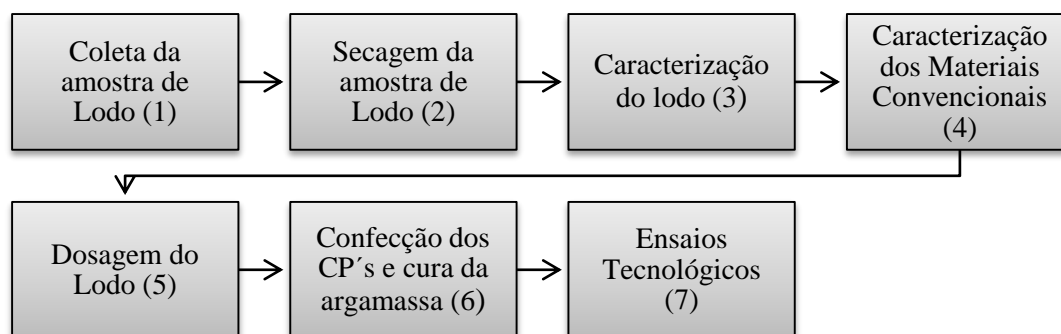


Figura 4-2 Fluxograma da metodologia do estudo

#### 4.3.1 COLETA DA AMOSTRA DE LODO

O lodo da ETA foi coletado em abril de 2015 durante o processo de limpeza do decantador da ETA 02 e em maio de 2015 foi realizada uma segunda coleta no decantador da ETA 01, ambos foram armazenados em recipientes previamente limpos.



Figura 4-3 Coleta do lodo da ETA

#### 4.3.2 SECAGEM DA AMOSTRA

Após a coleta a amostra foi encaminhada ao laboratório de solos do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Rondônia onde o lodo foi colocado em repouso inicialmente em recipiente plástico para a retirada do excesso de líquido e após em bandeja metálica onde foi seco em estufa a 80°C, por aproximadamente 24 horas, após a retirada da estufa a amostra foi destorroada, utilizando-se almofariz e pistilo, até que suas partículas chegassem a dimensão da areia, e acondicionado em saco plástico para manter suas propriedades originais após processamento, conforme figura a seguir.

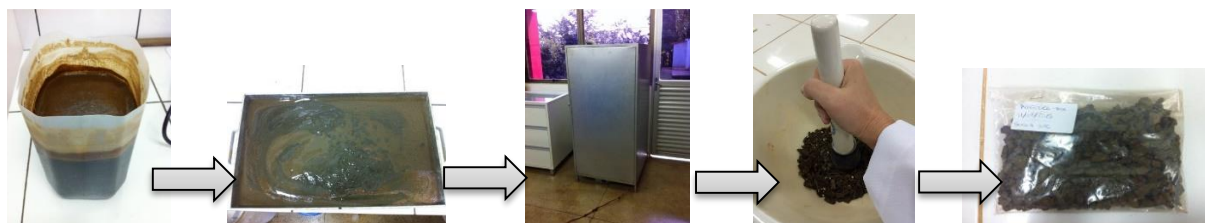


Figura 4-4 Secagem, destorroamento e armazenamento do lodo

### 4.3.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Após a secagem o lodo foi encaminhado ao laboratório da FUCAPI/AM onde foi dividido em cinco amostras e submetido a ensaios laboratoriais para obtenção de suas características químicas.



Figura 4-5 Amostras de lodo 1, 2, 3, 4 e 5

Também foi realizado no laboratório de solos da FARO o ensaio para determinar a matéria orgânica do lodo de acordo com a NBR 13600 [23] aonde por quarteamento foi separada uma amostra de 100 g de lodo fino e divididos em cápsulas que foram transferidas para uma estufa a uma temperatura de 110 ° durante 24 horas, após esse tempo o material alcançou a temperatura ambiente e as cápsulas foram pesadas com a intenção de determinar a massa do lodo (massa A) após o período na estufa. Para a queima total da amostra de lodo o mesmo foi transferido para a mufla em temperatura de 440 °C por 12 horas e após atingir a temperatura ambiente foi pesado novamente (massa B).

O teor da matéria orgânica foi determinado pela seguinte equação:

$$MO (\%) = (1-B/A) \times 100$$

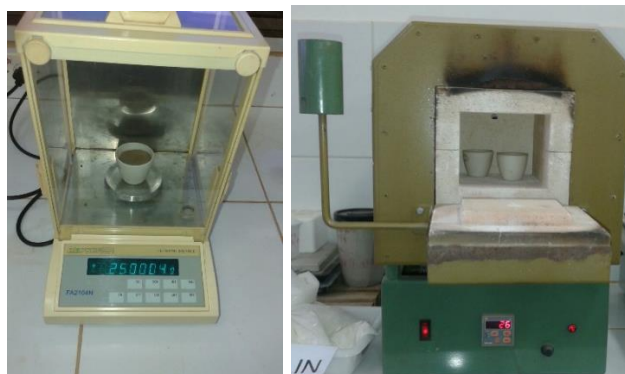


Figura 4-6 Ensaio para determinação da matéria orgânica

#### 4.3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS

O agregado natural utilizado no estudo foi a areia fina lavada e o cimento utilizado para confecção dos corpos de provas foi o CP IV-32 (cimento Portland pozolânico), em razão de ambos estarem disponível no mercado da cidade.

A caracterização da composição granulométrica da areia foi realizada no laboratório da FARO de acordo com a NBR 7217 [24], onde a amostra da areia foi seca em estufa à 110°C de temperatura e colocada sobre o conjunto de peneira de malha quadrada (0,075; 0,150, 0,300; 0,425; 0,600; 1,180 e 2,00) mm sendo peneiradas por 15 minutos no peneirador automático, conforme figura 4.7. Os materiais retidos nas peneiras foram pesados e calculado as porcentagens retidas.

A dimensão máxima característica foi definida de acordo com a norma NBR 7217 [24] que define que essa grandeza corresponde à abertura da malha da peneira em que o material apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%.

Para a determinação do módulo de finura foi utilizada a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série, dividida por 100, conforme determina a norma NBR 7217 [24].

Para a determinação da composição granulométrica da areia foi utilizado os limites granulométricos estabelecidos na NBR 7211 [25].

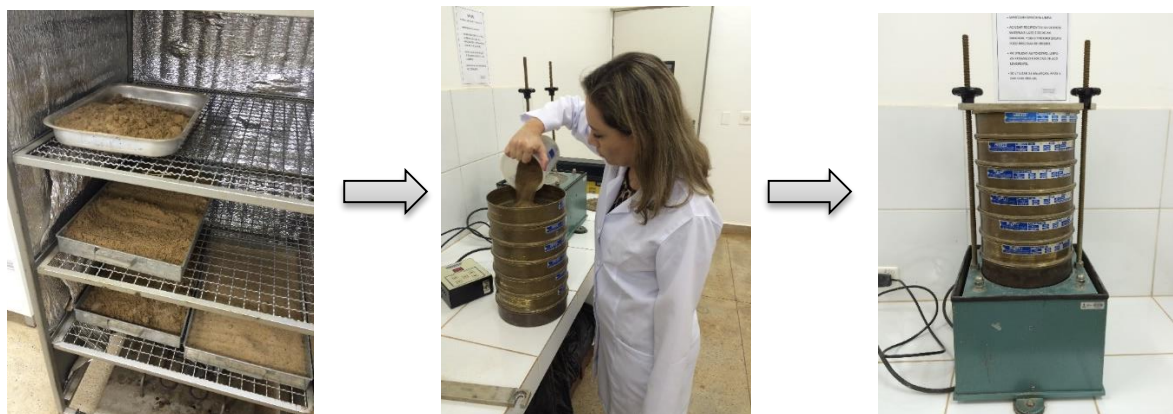


Figura 4-7 Composição granulométrica da areia

#### 4.3.5 DOSAGEM DO LODO

Com a finalidade de utilizar o lodo da ETA de Ji-Paraná como argamassa de assentamento neste estudo foram produzidas argamassas com as seguintes proporções:

- Argamassas de assentamento traço 1:8: com 0 (amostra de referência), 1, 2, 3, 4 e 5 % de adição do lodo em substituição ao agregado fino natural, com fator água/cimento 1,76 para a argamassa com 0% de lodo e na argamassa com substituição de lodo o fator de água/cimento de 1,73, essa dosagem foi baseada no trabalho de Sales [26], sendo que no referido estudo foram realizados substituição somente para a proporção de 2% de lodo e;
- Argamassas de assentamento traço 1:7: com 0, 1, 2, 3, 4 e 5 % de adição do lodo substituindo o agregado fino natural, utilizando os mesmos fatores de água/cimento do traço 1:8.



Figura 4-8 Dosagem do lodo

#### 4.3.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS E CURA DA ARGAMASSA

A confecção dos corpos de prova foi realizada de acordo com as recomendações da norma NBR 7215 [27], sendo moldados 4 corpos de prova para cada teor, totalizando 20 corpos de prova para cada traço.

Os moldes utilizados foram cilíndricos (50mm de diâmetro e 100 mm de altura), conforme figura 4.9 sendo utilizado óleo mineral para untar toda a superfície interna.

Após a mistura os corpos de prova foram moldados com uma espátula em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, sendo que cada camada recebeu 30 golpes uniformes.



Figura 4-9 Confecções dos corpos de provas

Após a moldagem os corpos de prova foram submetidos a cura inicial ao ar durante 24 horas e após esse período foram desformados e imersos em tanque com água (não corrente) saturada de cal onde permaneceram até o momento dos ensaios, conforme figura a seguir.



Figura 4-10 Corpos de prova imersos no tanque com água, durante a cura

#### 4.3.7 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Após o tempo de cura os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial, obedecendo as especificações da NBR 7215 [27]. Aos 28 dias de idade, contados a partir do momento em que foram imersos em água, os corpos de prova foram colocados no prato inferior da prensa eletrohidráulica, figura 4.11, com indicador digital com capacidade para 200 toneladas força, sendo aplicada nos corpos de prova uma carga uniforme e sem choque de 50N/s.



Figura 4-11 Prensa utilizada para os ensaios mecânicos

O presente estudo também realizou o ensaio de absorção de água das argamassas de assentamento de acordo com a metodologia descrita na NBR 9779 [28], sendo utilizados a parte representativa dos corpos de prova rompidos aos 28 dias. Os corpos de prova foram colocados em um recipiente com lâmina de água de 5 mm durante 72 horas, sendo pesados antes e após a introdução na água.

A absorção de cada corpo de prova foi determinada através da seguinte equação:

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{(\text{Massa Úmida} - \text{Massa Seca}) * 100}{\text{Massa Seca}}$$

#### 4.4 RESULTADOS

##### 4.4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE JI-PARANÁ

O sistema de tratamento de água de Ji-Paraná é constituído pela captação da água no Rio Urupá, próximo ao encontro com o Rio Machado, e de acordo com a Companhia que opera o sistema a qualidade do Rio Urupá é satisfatória, sendo que a maior fonte de poluição é decorrente do lançamento de esgoto in natura.

De acordo com Carvalho [20], os parâmetros físico-químicos do rio Urupá no ponto de captação apresentaram os seguintes valores: turbidez de 20,67 UT, alcalinidade 42,8 mg/L, dureza 18,6 mg/L, pH 7,4, condutividade 48,48  $\mu\text{S/cm}$ , oxigênio dissolvido 4,44 mg/L. Assim a água do rio é levemente alcalina e razoavelmente turva. Porém a quantidade de oxigênio dissolvido encontrado pode ser considerada baixa em relação a portaria CONAMA 357/2005 [21], que recomenda uma quantidade de oxigênio dissolvidos não inferior a 6,0 mg/L. Logo, essa diferença de oxigênio dissolvido pode estar relacionada a uma alta quantidade de carga



orgânica na água. Temperatura, Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos apresentaram valores que indicam uma boa qualidade da água.

Em relação ao tratamento a água do Rio Urupá é bombeada até a câmara de distribuição da ETA através de uma adutora de DN 500 mm e extensão de 421 m. O sistema conta com 2 (duas) ETA's situadas no mesmo local, com as seguintes características:

ETA 01: composta por 04 módulos de flocladores e 06 módulos de decantadores pré-fabricados em fibra de vidro capacidade total de 240 l/s que operam em série com os clarificadores de contato (filtros Russos) em concreto armado que tem a mesma capacidade nominal de tratamento de água.

ETA 02: ETA convencional, pré-fabricada, em fibra de vidro, capacidade de 120 l/s.

As águas produzidas nas duas unidades de tratamento são encaminhadas para o reservatório de contato.

A área de tratamento possui uma casa de química com depósito de produtos químicos, sala de preparo e dosagem de produtos químicos (sulfato de alumínio, cal e cloro gás) e laboratório. A cal somente é utilizada no período de chuva devido a redução do pH da água bruta.

Após o tratamento a água tratada é distribuída para a população de Ji-Paraná. O fluxograma a seguir apresenta as etapas do sistema de abastecimento de água do município de Ji-Paraná.

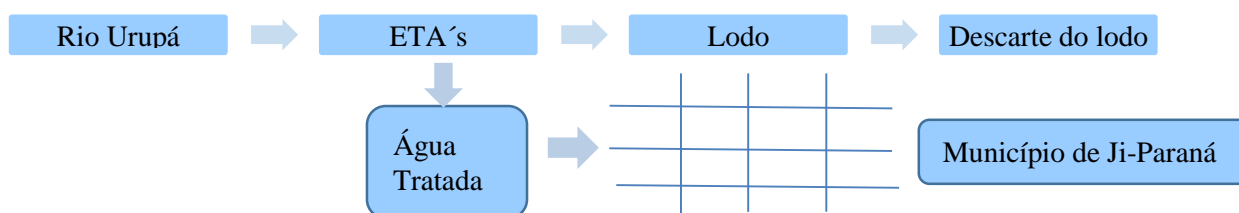


Figura 4-12 Fluxograma da produção de lodo da ETA de Ji-Paraná/RO



Figura 4-13 Sistema de Abastecimento de Água de Ji-Paraná/RO

Fonte: CAERD / Ji-Paraná [22]

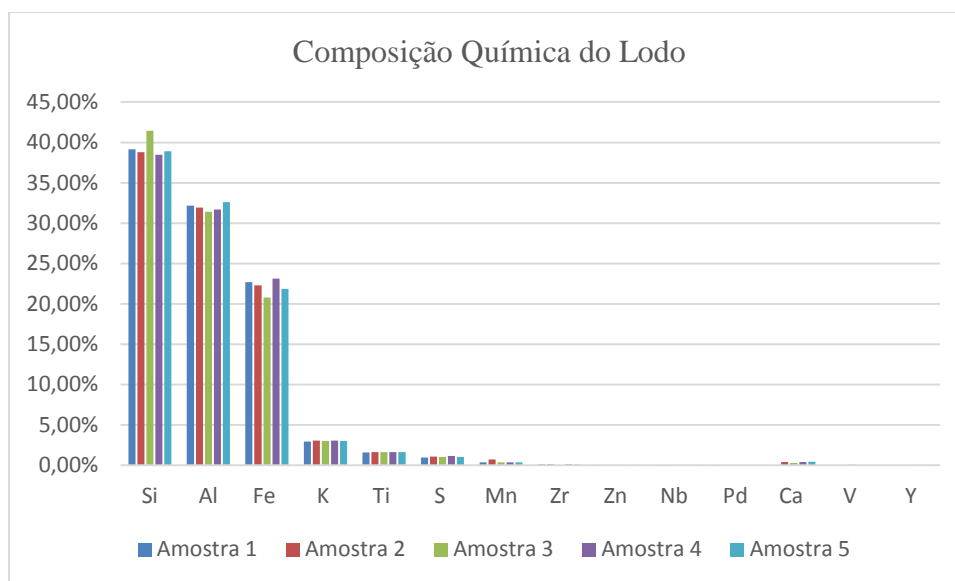
#### 4.4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Os resultados dos ensaios de caracterização química indicam que os principais elementos químicos presentes nas amostras de lodo são o silício, alumínio e o ferro, sendo que o coagulante utilizado no tratamento da água de Ji-Paraná é o sulfato de alumínio, conforme apresentado na Tabela 4-1 e no Gráfico 4-1.

Tabela 4-1 Composição química das amostras de lodo

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Si (silício)	39,16%	38,80%	41,47%	38,48%	38,92%
Al (alumínio)	32,17%	31,95%	31,39%	31,70%	32,61%
Fe (ferro)	22,68%	22,27%	20,77%	23,13%	21,87%
K (potássio)	2,93%	3,05%	2,99%	3,03%	3,01%
Ti (titânio)	1,57%	1,63%	1,63%	1,64%	1,64%
S (enxofre)	0,97%	1,05%	1,02%	1,13%	1,04%
Mn (manganês)	0,34%	0,70%	0,34%	0,36%	0,34%
Zr (zircônio)	0,10%	0,11%	0,00%	0,11%	0,09%
Zn (zinco)	0,03%	0,04%	0,04%	0,00%	0,04%
Nb (nóbio)	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
Pd (paládio)	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ca (cálcio)	0,00%	0,39%	0,27%	0,39%	0,42%
V (vanádio)	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%
Y (ítrio)	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,02%

Gráfico 4-1 Composição química do lodo



Os resultados da composição química do lodo indicam que sua composição é muito próxima a composição química do cimento, conforme será demonstrado no item caracterização dos materiais convencionais, essa constatação também foi observada por Yen [13], o qual afirma que a composição química da maioria dos resíduos de ETA's contém  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , sendo também os principais compostos químicos das matérias-primas do cimento.

Os resultados das variáveis do ensaio para a determinação da matéria orgânica do lodo, após 24 horas na estufa (A) e 12 horas na mufla (B), estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4-2 Variáveis para determinação da matéria orgânica

Variável	Massa (g)
A	50,004
B	35,945

Os resultados indicam que o lodo da ETA possui 28,12% de matéria orgânica, correspondente a perda de peso da amostra após o ensaio. De acordo com Macêdo [29] a matéria

orgânica tem uma influência negativa na hidratação do cimento. O lodo da ETA de Ji-Paraná possui uma quantidade significativa de matéria orgânica conferindo ao lodo uma alta capacidade de absorção de água. De fato no presente estudo os corpos de prova com a incorporação de 5% de lodo em substituição parcial da areia não obtiveram sucesso devido ao fato de que os moldes não endureceram, demonstrando um aumento da absorção de água dos corpos de prova com o aumento da adição do lodo.

#### 4.4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONVENCIONAIS

O ensaio para a determinação da granulometria da areia foi realizado em peneiras de malhas quadradas, sendo que a maior quantidade de material retido ocorreu na peneira com abertura 0,60 mm, correspondendo a 32,05% de percentual retido, seguido pela peneira de 0,30 mm de abertura, com 27,58% de retenção do material, e na sequência a peneira com abertura de 0,425 mm, com 25,61% de retenção de areia.

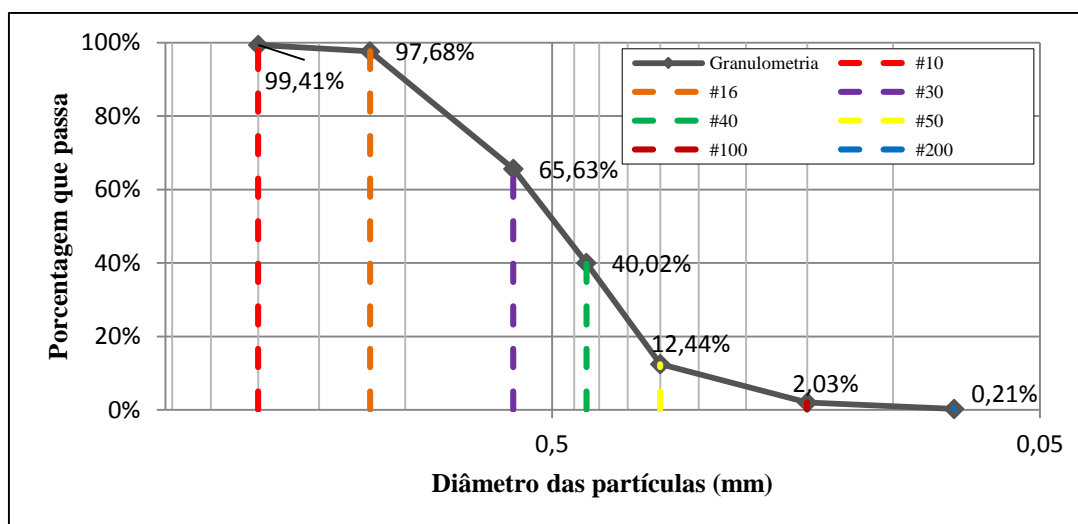
O resultado do ensaio granulométrico da areia fina utilizada como agregado natural estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4-3 Ensaio Granulométrico da areia

<b>Peneira</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Porcentagem Retida</b>	<b>Porcentagem acumulada</b>	<b>Porcentagem que Passa</b>
#10	2,000	6,1	0,59%	0,59%	99,41%
#16	1,180	17,9	1,73%	2,32%	97,68%
#30	0,600	331,1	32,05%	34,37%	65,63%
#40	0,425	264,6	25,61%	59,98%	40,02%
#50	0,300	285	27,58%	87,56%	12,44%
#100	0,150	107,5	10,40%	97,97%	2,03%
#200	0,075	18,8	1,82%	99,79%	0,21%
Fundo		2,2	0,21%	100,00%	0,00%

A análise do resultado determinou a dimensão característica máxima de 1,18 mm e o módulo de finura da areia de 3,82, com base nos dados obtidos foi montado o gráfico a seguir de acordo com as porcentagens de material retido nas peneiras.

Gráfico 4-2 Análise granulométrica da areia



Os limites granulométricos da areia utilizada nesse estudo não se enquadram nos limites estabelecidos na NBR 7211 [25], o módulo de finura da areia fina comercialmente utilizada não está dentro dos limites da zona utilizável superior, porém de acordo com a referida norma podem ser utilizados agregados miúdos com granulometria diferente das estabelecidas pela norma desde que os estudos comprovem sua aplicabilidade.

Em relação ao cimento CP IV 32 utilizado neste estudo, Ribeiro [30] empregou em seu estudo o mesmo cimento utilizado nesta pesquisa, e de acordo com seu ensaio a amostra de cimento apresentou a seguinte composição.

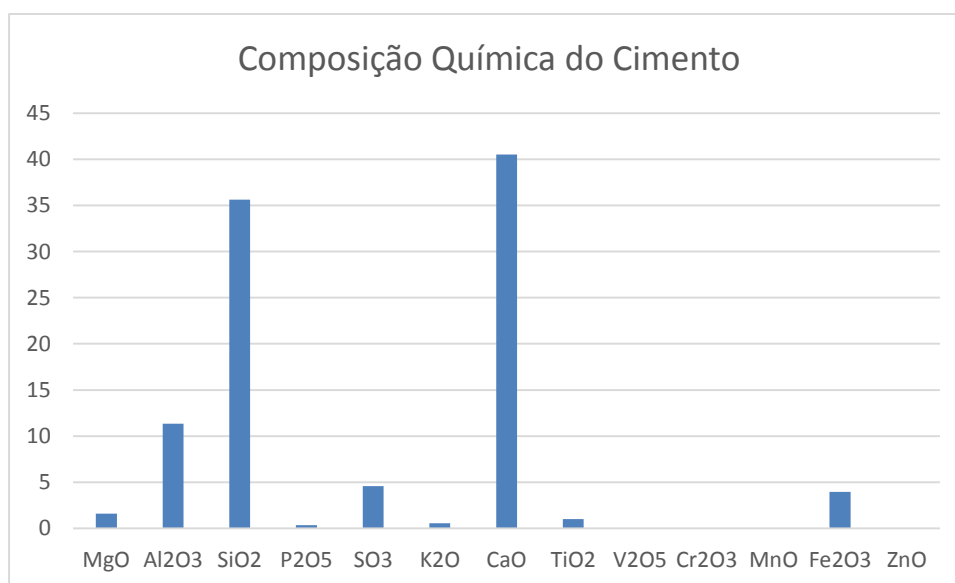
Tabela 4-4 Composição Química do Cimento CP IV 32

Composição	Concentração (%)
MgO	1,585
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,351
SiO <sub>2</sub>	35,632
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,345
SO <sub>3</sub>	4,6
K <sub>2</sub> O	0,569
CaO	40,497
TiO <sub>2</sub>	1,028
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,032
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,018
MnO	0,028
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,96
ZnO	0,016

Fonte: Ribeiro [30]

O resultado do ensaio de Ribeiro [30] comprova a afirmação de Yen [13] pois os principais componentes do cimento são CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, conforme representado no gráfico a seguir.

Gráfico 4-3 Composição Química do Cimento



#### 4.4.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os corpos de prova que foram moldados utilizando 5% de lodo em substituição a areia fina não obtiveram sucesso, visto que no momento do desforma os corpos de prova não endureceram.

O quadro a seguir apresenta os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova com a incorporação de 0, 1, 2, 3 e 4% de lodo nos traços 1:8 e 1:7, curados durante 28 dias.

Tabela 4-5 Resultado dos ensaios de determinação da resistência à compressão

	Traço 1:8					Traço 1:7				
	Quantidade de Lodo Incorporado					Quantidade de Lodo Incorporado				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
<b>Cp 1</b>	1,25	0,85	1,45	1,20	0,85	1,70	1,60	1,50	1,30	0,85
<b>Cp 2</b>	1,65	1,60	1,40	1,30	1,00	1,45	1,60	1,45	1,40	0,60
<b>Cp 3</b>	1,80	1,30	1,90	1,15	0,60	1,55	1,40	1,40	1,45	0,30
<b>Cp 4</b>	1,60	1,65	1,35	1,05	0,80	1,45	1,15	1,35	1,50	0,20
<b>Média (Mpa)</b>	1,57	1,35	1,52	1,17	0,81	1,54	1,44	1,42	1,41	0,49
<b>Desvio Padrão (Mpa)</b>	0,23	0,37	0,25	0,10	0,17	0,12	0,21	0,06	0,09	0,30

De acordo com os resultados é possível verificar que a medida em que o lodo é adicionado a mistura a resistência mecânica dos corpos de prova tendem a diminuir em consequência da influência do lodo na hidratação do cimento, fato que ocorre nos dois traços analisados.

Os corpos de prova CP3 traço 1:8 e 1:7, com adição de lodo de 4%, apresentaram baixa resistência a compressão devido ao fato de que os corpos de prova possuíam trincas, o mesmo fator ocorreu para o corpos de prova CP 4 com 3% de lodo com traço 1:8, bem como com 4% de lodo no traço 1:7, o que indica um elevado consumo de água nos corpos de prova.

Nos resultados do ensaio de resistência a compressão é possível observar que em relação ao traço 1:8 os valores obtidos demonstram que em relação ao amostra de referência, sem a adição de lodo, os corpos de prova com 2% de lodo apresentaram resistência médias próximas as amostras de referência. Sendo que o estudo de Sales [26] utilizou somente a proporção de 2% e apresentou resultados superiores a esse estudo. Importante salientar que de maneira geral cada localidade possui suas características, ou seja, o lodo de cada ETA possui características próprias de acordo com o local de captação da água.

Já em relação ao traço 1:7 é possível observar que com a adição de lodo ocorreu perda da resistência do material em comparação a amostra de referência, porém a variação da resistência de 1, 2 e 3% de adição de lodo demonstrou-se pequena, ocorrendo uma grande perda de resistência com a utilização de 4% de lodo.

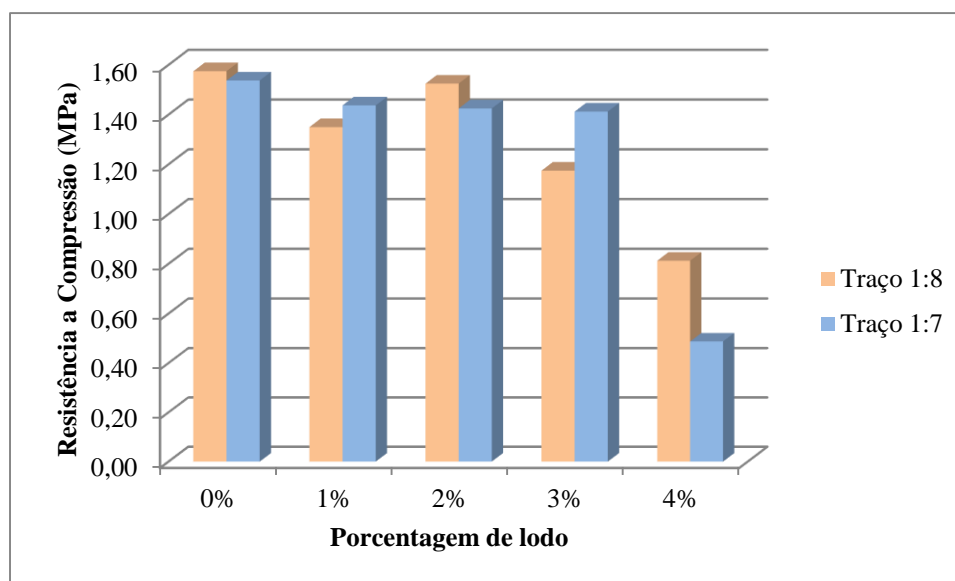
Observasse nos resultados dos ensaios de resistência a compressão que as argamassas de assentamento produzidas com o traço 1:7 apresentam maior resistência do que a argamassa com o traço 1:8, isso se deve ao fato que no traço 1:7 foram aplicadas quantidades menores de lodo e areia.

Em ambos os traços utilizados ocorreu uma perda maior da resistência com a utilização de 4% de lodo, em função do poder de absorção do lodo que reteve a água e diminuiu a resistência dos corpos de prova.

O gráfico a seguir apresenta os valores médios da resistência a compressão axial obtidos através das especificações da NBR 7215 [27].



Gráfico 4-4 Média da Resistência a compressão



Os ensaios de resistência a compressão mostram que as argamassas produzidas com o traço 1:7 apresentam pouca variação na resistência quando adicionado 1, 2 e 3% de lodo, sendo que com a incorporação de 3% de lodo começou a perder a resistência, conforme gráfico 4-4.

O ensaio de absorção de água da argamassa foi realizado utilizando as porcentagens de lodo que apresentaram resistência a compressão mais próxima da amostra de argamassa convencional, sem a adição de lodo, ou seja, produzidas com a adição de 0, 1 e 2% de lodo.

A quantidade de água absorvida foi observada através da pesagem dos corpos de prova seco e após 72 h em lâmina de água, a tabela a seguir apresenta os resultados obtidos no ensaio bem como a absorção de água dos corpos de prova de acordo com o traço e a porcentagem de lodo utilizado.

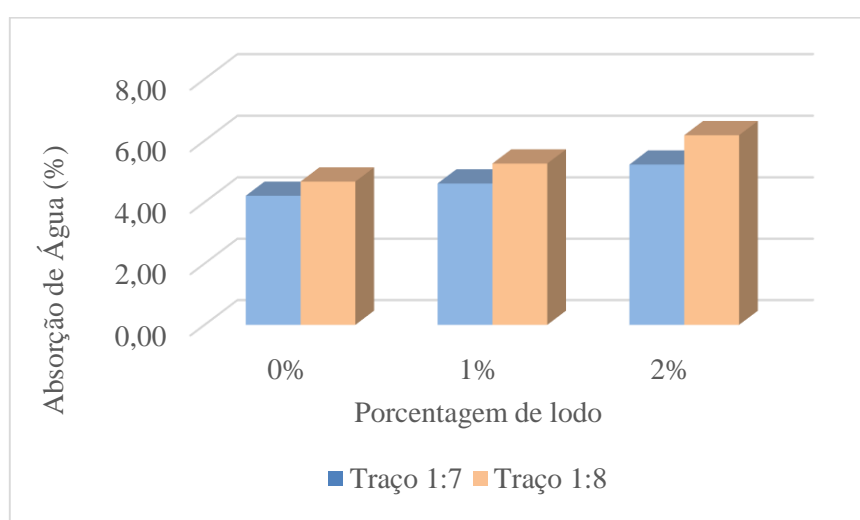
Tabela 4-6 Resultado dos ensaios de absorção de água

Traço	Lodo Incorporado	Massa Seca (g)			Massa Úmida (g)			Absorção (%)			Absorção Média (%)
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	
1:7	0%	354,6	367,0	346,6	371,1	377,4	364,4	4,65	2,83	5,14	4,21
1:7	1%	363,2	348,9	364,6	378,9	367,5	379,8	4,32	5,33	4,17	4,61
1:7	2%	337,5	343,1	342,5	357,7	364,2	354,6	5,99	6,15	3,53	5,22
1:8	0%	362,4	358,6	371,2	377,7	379,5	385,9	4,22	5,83	3,96	4,67
1:8	1%	360,4	341,9	368,9	378,8	371,2	376,6	5,11	8,57	2,09	5,25
1:8	2%	346,9	358,4	341,2	364,4	366,9	379,1	5,04	2,37	11,11	6,17

Analisando os resultados da absorção média é possível verificar que o aumento da incorporação de lodo em substituição a areia aumenta a absorção de água da amostra, sendo que a absorção de água reduz o poder de pega do cimento.

Os resultados indicam que a absorção média de água nos corpos de prova foi maior quando utilizado o traço 1:8, onde a quantidade de areia e lodo utilizada foi maior, do que no traço 1:7, conforme gráfico a seguir.

Gráfico 4-5 Média da Absorção de Água



Analisando os resultados dos ensaios de compressão e de absorção de água, com exceção da adição de 1% de lodo como agregado miúdo, é possível verificar que quanto maior a absorção de água nos corpos de prova menor a sua resistência a compressão.

#### 4.5 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a composição química do lodo da ETA de Ji-Paraná é muito próxima a composição do cimento e que o lodo da ETA possui uma quantidade significativa de matéria orgânica, conferindo ao lodo uma alta capacidade de absorção de água.

A incorporação de 5% de lodo não foi viável nas proporções definidas para esse estudo, visto que não ocorreu a pega da argamassa.

Na incorporação de 4% de lodo, tanto no traço 1:8 quanto no traço 1:7, ocorreu uma perda significativa da resistência dos corpos de prova em relação aos corpos de prova de referência, sem a adição de lodo.

O traço 1:8 apresentou absorção de água superior ao traço 1:7 em função de que nesse traço foi incorporada uma maior quantidade de lodo do que no traço 1:7.

Os resultados dos ensaios tecnológicos indicam que o traço 1:7 apresentou os melhores resultados, podendo ser utilizado na proporção de até 3% de incorporação, sem prejuízos ao processamento e a qualidade final do produto, sendo que quando maior a incorporação de lodo maior a absorção de água.

Mesmo utilizando pequenas quantidades do lodo a sua utilização é viável visto que a sua utilização reduzirá o consumo de matéria prima para a produção de argamassa além de evitar o impacto ambiental causado pela disposição final do lodo de maneira inadequada.

O presente estudo demonstrou ser possível a utilização do resíduo do tratamento de água de Ji-Paraná na produção de argamassa, porém a medida que se aumentam as dosagens de lodo os resultados não são favoráveis.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

- [1] **USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** *Setting standards for safe drinking water.* May, 2000b. Disponível em <<http://www.epa.gov/safewater/standard/setting.html>>. Acesso em: maio 2015.
- [2] **VICTORIA, A.N. Characterisation and performance evaluation of water works sludge as bricks material,** I International Journal of Engineering and Applied Science, Vol. 3, N. 3, 2/013.
- [3] **HUANG, C. H., et al. Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate.** Construction and Building Materials 43 (2013) 174–183
- [4] **SILVA, J. F. A. da. Comportamento de concreto asfáltico tendo lodo da ETA da cidade de Manaus como filler.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Manaus 2008.
- [5] **EL-DIDAMONY, H., et al. Physico – chemical and surface characteristics of some granulated slag – fired drinking water sludge composite cement pastes.** HBRC Journal 10.1 (2014): 73 – 81.
- [6] **AWWA – American Water Works Association. An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals.** USA: AWWARF, 1995.
- [7] **AWWARF. Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals.** American Water Works Association Research Foundation, 1999.

- [<sup>8</sup>] CHEN, H. ET al. **“Reuse of water purification sludge as raw material in cement production”**, Cement and Concrete Research 32 (2010) p.436 - 439.
- [<sup>9</sup>] UCKER, F. E., et al. **Utilização do lodo gerado em indústria para a fabricação de argamassa**, Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 106-114, 2010.
- [<sup>10</sup>] MARINHO, P.G., et al. **Avaliação do uso de lodo de ETE estabilizado com emulsão asfáltica em base e sub-base de pavimentos rodoviários**, 42<sup>a</sup> Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) e o 16<sup>o</sup> Enacor (Encontro Nacional de Conservação Rodoviária), 2013.
- [<sup>11</sup>] TSUTUYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais. João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- [<sup>12</sup>] SAHU, V. et al, **Sustainable Use of Water Treatment Plant Sludge and Fly Ash in Civil Engineering Application**, International Journal of Civil Engineering and Building Materials, Vol. 3 N.3 2013.
- [<sup>13</sup>] YEN, C. L.; et al. **“Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges”**, Chemosphere 84 (2011) p. 220 - 226.
- [<sup>14</sup>] RODRÍGUEZ, N. H.; et al. **“Re-use of drinking water treatment plant (DWTP) sludge: Characterization and technological behaviour of cement mortars with atomized sludge additions”**, Cement and Concrete Research 40 (2010) p. 778 - 786.
- [<sup>15</sup>] HEGAZY, B.E.E, et al. **Reuse of water treatment sludge and silica fume in brick manufacturing**, Journal of American Science, 2011.

- [16] RAMADAN, M. O. et al. **Reuse of Water Treatment Plant Sludge in Brick Manufacturing**, Journal of Applied Sciences Research, 4(10): 1223-1229, 2008.
- [17] CHIANG, et al. **Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks**, Journal of Hazardous Materials 171, 76–82, 2009.
- [18] NUNES, M. L. A., et al. **EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO URUPÁ, RONDÔNIA – AMAZÔNIA OCIDENTAL**. ABRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves/RS – 2013.
- [19] Google Maps Disponível em: <<https://www.google.com/maps/@-10.884379,-61.9654215,1547m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 20 Julho de 2016.
- [20] CARVALHO, I.J.I, et al. **Avaliação de parâmetros físicos químicos no ponto de captação da água do Rio Urupá para abastecimento público na cidade de Ji-Paraná. 2012**, 64 ° Reunião Anual da SBPC, UFMA, São Luís, MA.
- [21] RESOLUÇÃO No 357 de 17 de MARÇO DE 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente.
- [22] CAERD – Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia, Ji-Paraná, Rondônia, 2015.
- [23] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13600** – Solos – Determinação do Teor de matéria orgânica por queima a 440 °C. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- [24] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7217** – Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987
- [25] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211** – Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

[26] SALES, A., et al. **Concretes and mortars recycled with water treatment sludge and construction and demolition rubble**. Construction and Building Materials 23 (2009) 2362–2370

[27] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

[28] **Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9779 – Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

[29] RIBEIRO, Umberto G. **Desempenho térmico, acústico e mecânico de compósitos cimentícios produzidos com resíduos da indústria madeireira de Porto Velho**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2016.

[30] MACÊDO, A.N., et al. **Análise estatística do comportamento mecânico à compressão do compósito cimento-madeira**. Matéria (Rio J.) Vol 16 n° 2, Rio de Janeiro, 2011.

## 5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que o lodo gerado nas estações de tratamento de água pode ser utilizado como matéria prima para fabricação de novos produtos, atendendo ao que preconiza o termo desenvolvimento sustentável, além de ser uma alternativa de matéria prima de baixo custo.

No primeiro artigo foi possível verificar que diversos autores vem se dedicando ao estudo dos possíveis usos do lodo, alcançando resultados bastante satisfatórios em diversos usos.

A revisão bibliográfica demonstrou que o lodo de estações de tratamento são diferentes entre ETA's devido ao fato de que a qualidade da água dos mananciais de captação apresenta diferenças na qualidade da água bruta, por esse motivo para sua utilização torna-se necessário realizar os estudos que garantam a qualidade do seu uso.

Os estudos realizados com o lodo da ETA de Ji-Paraná demonstraram que seu uso é viável até a incorporação de 3% de lodo no traço 1:7, garantindo a qualidade do produto.

Para trabalhos futuros sugere-se o estudo de novos traços e novas dosagens do lodo visando verificar a possibilidade de se utilizar concentrações maiores do lodo da ETA de Ji-Paraná além do estudo do lodo de outras localidades de Rondônia para poder comparar os resultados.



## 6 REFERÊNCIAS

- [1] GOMES, H.P. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. João Pessoa – PB. 2 edição. Editora Universitária, UFPB. 2004.
- [2] STEEL, Ernest W. **Abastecimento de água e sistemas de esgoto**. Ao Livro Técnico S. A. Rio de Janeiro. 592 p.1966.
- [3] CEBALLOS, B. S. O, et al. **“Tratamento de Água para Consumo Humano: Panorama Mundial e Ações do Prosab”**, Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano - Prosab 5, Rio de Janeiro, 2009.
- [4] RICHTER, C. A. & AZEVEDO, J. M. N. **“Tratamento de água: tecnologia atualizada”**. Editora Edgard Blucher LTDA. 2003.
- [5] TSUTYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- [6] FADANELLI, L. E. A ; et al. **Estudo da Utilização do Lodo de Estação de Tratamento de Água em Solo Cimento para Pavimentação Rodoviária**, Revista de Engenharia e Tecnologia, V. 2, nº 2, 2010.
- [7] TSUTYIA, M.T. **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 634 p., 2004
- [8] ANDREOLI, C. V., et al. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.
- [9] REALLI, M. A. P. **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de águas**. Rio de Janeiro: ABES. PROSAB. 1999.
- [10] RICHTER, C. A. **Tratamento de lodo de estação de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2001.
- [11] 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.