

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

ALEXANDRA ALVES CORRÊA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO**

CARATINGA/MG

2019

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

ALEXANDRA ALVES CORRÊA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO
DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades DOCTUM de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil.

Professor Orientador: Thales Leandro Moura.

CARATINGA/MG

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE TIJOLO CERÂMICO, elaborado pelo(s) aluno(s) ALEXANDRA ALVES CORRÊA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 09/07/2019

Thales Moura
THALES MOURA

Prof. Orientador

João Moreira
JOÃO MOREIRA

Prof. Avaliador 1

Leandro Souza
LEANDRO SOUZA

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos, onde tive que crescer, aprender, lutar, obedecer, criar, me calar, aprender a hora certa de tudo e para tudo, a respeitar... Enfim, chegou o grande momento, Trabalho de Conclusão de Curso finalizado. A partir de agora uma nova etapa vai se iniciar.

A Deus só gratidão, por fazer tudo na minha vida valer a pena, minha família meu respeito, meu esposo incentivo, professores conhecimento.

Aos amigos que fiz, sempre me incentivando, não me deixando desistir, em especial o Lucas do laboratório. A todos obrigada pela ajuda, fez toda a diferença nessa longa caminhada.

Obrigada a todos pelo apoio.

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Eficiência de diversos sistemas de tratamento de esgoto.....	15
Quadro 2: Tijolos produzidos.....	38
Quadro 3: Resultados absorção d'água.....	46
Quadro 4: Resultados ensaio resistência à compressão.....	46
Tabela 1: Metais pesados presentes no lodo (ppm).....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sólidos nos esgotos.....	17
Figura 2: Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto, em termos de concentração.....	18
Figura 3: Processo de fabricação de cerâmica vermelha.....	25
Figura 4: Classificação e caracterização de resíduos sólidos.....	25
Figura 5: Estação de Tratamento de Esgoto de Ipatinga/MG.....	30
Figura 6: Vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Ipatinga/MG.....	30
Figura 7: Tanque de armazenamento do lodo.....	31
Figura 8: Retirada do lodo para utilização no experimento.....	31
Figura 9: Parte do maquinário utilizado para a produção dos tijolos.....	32
Figura 10: Tabela de propriedades dos blocos cerâmicos de diferentes pesquisas de incorporação de lodo.....	33
Figura 11: Cinza do lodo da ETE.....	34
Figura 12: Maquinário que molda os tijolos.....	35
Figura 13: Mistura da cinza do lodo com a argila.....	35
Figura 14: Mistura do material na máquina.....	36
Figura 15: Tijolo moldado.....	36
Figura 16: Tijolos produzidos.....	37
Figura 17: Exemplares dos tijolos para os testes.....	37
Figura 18: Tijolos cerâmicos produzidos.....	38
Figura 19: Tanque de água.....	39
Figura 20: Balança de aferição manual.....	40
Figura 21: Balança de bancada.....	40
Figura 22: Máquina de ensaio de compressão.....	41
Figura 23: Peso do corpo de prova (A) molhado.....	42
Figura 24: Peso massa seca do corpo de prova (B).....	43
Figura 25: Pesagem do corpo de prova (C) imerso.....	44
Figura 26: Tijolo sendo prensado.....	45
Figura 27: Tensão do corpo de prova (A).....	45

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como intuito a análise do reaproveitamento de resíduos de estações de tratamento de esgoto na produção de tijolo cerâmico. O crescimento da produção dos resíduos sólidos é um dos problemas do mundo atual, assim como a coleta e transporte, tratamento e disposição final desses resíduos, de forma a minimizar os impactos ambientais. Esse impasse tem consumido recursos humanos, tecnológicos e financeiros. Diante da problemática acerca da disposição dos resíduos sólidos gerados pelas Estações de Tratamento de Esgoto pretendeu-se com este trabalho estudar uma maneira viável de seu reaproveitamento na construção civil, por meio de sua incorporação na fabricação de tijolos cerâmicos. Para tanto, utilizou-se de uma metodologia de caráter genérico e linguagem comum, a fim de propiciar a interação de uma equipe multidisciplinar, otimizando seus resultados. Os resultados alcançados neste trabalho revelaram que é possível a fabricação de tijolos cerâmicos com a incorporação das cinzas do lodo de ETE até a proporção de 5% em peso. O principal efeito deste tipo de resíduo na fabricação de tijolo cerâmico é a redução do gasto energético durante a etapa de queima.

Palavras-chave: Construção Civil. Gerenciamento de Resíduos. Reutilização de lodo.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the reuse of waste from sewage treatment plants in the production of ceramic brick. The growth of solid waste production is one of the problems in the world today, as well as the collection and transport, treatment and final disposal of this waste, in order to minimize environmental impacts. This impasse has consumed human, technological and financial resources. In view of the problem regarding the disposal of solid waste generated by the Sewage Treatment Stations, it was intended with this work to study a viable way of its reutilization in the civil construction, through its incorporation in the manufacture of ceramic bricks. For that, a methodology of generic character and common language was used, in order to allow the interaction of a multidisciplinary team, optimizing its results. The results obtained in this work revealed that it is possible to manufacture ceramic bricks with the incorporation of sludge ash from ETE up to 5% by weight. The main effect of this type of residue in the manufacture of ceramic brick is the reduction of energy expenditure during the firing stage.

Keywords: Civil Construction. Waste management. Reuse of sludge.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	10
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
1.2. JUSTIFICATIVA	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. Objetivo Geral.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	12
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	13
2 – REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	15
2.1.1. Características do esgoto.....	17
2.1.2. Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto.....	19
2.1.3. Reciclagem do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto.....	21
2.2. TIJOLOS CERÂMICOS.....	22
2.2.1. Argila.....	23
2.2.2. Cerâmica vermelha.....	24
2.2.3. Incorporação de resíduos na fabricação de tijolos cerâmicos.....	26
3 - METODOLOGIA	28
4 – MATERIAL E MÉTODOS	30
5 – RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA	38
5.1. TIJOLOS.....	38
5.2. EQUIPAMENTOS.....	39
5.3. DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA.....	41
5.4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS.....	44
5.5. RESULTADOS.....	46
6. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXO 1	54

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Os temas relacionados à proteção do meio ambiente têm sido amplamente discutidos nos mais variados setores da sociedade, dado ao crescente descaso em relação aos cuidados dispensados a ele. PADOIN (2011) destaca que vem acontecendo um aumento da conscientização da preservação ambiental pela sociedade e, isso vem gerando um crescimento nas cobranças por melhorias ambientais, além de mais rigidez nas legislações sobre o assunto, fazendo com que as empresas desenvolvam novas metodologias e tecnologias para a preservação do meio ambiente.

O aumento da geração dos resíduos sólidos é um dos problemas do mundo contemporâneo, e junto a isso tem-se a coleta e transporte, tratamento e disposição final desses resíduos, de forma a minimizar os impactos ambientais. Esse dilema tem consumido recursos humanos, tecnológicos e financeiros (FRÉSCA, 2007).

De acordo com BORGES (2014), a prática comum no Brasil, em relação ao descarte dos resíduos retidos nas unidades do tratamento preliminar é de dispô-los no próprio terreno da estação, por meio de enterramento ou empilhamento, ou ainda, encaminhamento para aterros sanitários. De forma geral, não há preocupação relacionada às potencialidades que estão associadas ao seu aproveitamento direto, sua redução ou recuperação deste material gerado e os impactos ambientais.

BORGES (2014) também destaca que além do custo com o transporte e manuseio deste material, ele ocupa um volume que poderia ser destinado aos resíduos sólidos domésticos nos aterros brasileiros. Considera-se ainda, a análise integrada da viabilidade ambiental, técnica, operacional e econômica do aproveitamento dos resíduos, baseado no termo desenvolvimento sustentável em estações de tratamento de esgoto.

Um dos objetivos instituídos na Política Nacional de Resíduos Sólidos, (Lei 12.305/10), é o incentivo ao desenvolvimento de sistema de gestão ambiental e empresarial que visam à melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos.

A construção civil vem inovando ao longo dos últimos anos, no sentido de buscar o aproveitamento desses resíduos gerados e que não têm destinação adequada. Nesse sentido, INGUNZA (2008) destaca que o reaproveitamento de resíduos é uma prática que vem sendo utilizada de forma crescente na área de construção civil, reciclando resíduos da própria construção civil, além dos resíduos de outras atividades, que até então vinham sendo considerados inaproveitáveis e problemáticos.

Lado outro, dentro da construção civil a indústria de cerâmica é extremamente promissora para incorporar resíduos sólidos industriais, principalmente pelo fato de aceitar novos materiais como componentes na matéria-prima, tais como resíduos de mineração, pó de cimento, resíduos de galvanoplastia, lodos industriais (ARAÚJO, 2008).

SILVEIRA (2014) destaca que existem diversas técnicas para a disposição do lodo de esgoto, posto que em grande parte das vezes o processo não utiliza técnicas corretas de engenharia, situação que pode acarretar sérias consequências para o meio ambiente em razão da migração dos contaminantes contidos no lodo para o solo e os lençóis de água subterrânea, além de poder mudar as características físicas do solo local.

Como destaca PADOIN (2011), a importância de um gerenciamento adequado desses resíduos fica evidente, principalmente para a reestruturação e preservação do meio ambiente e, aplicado ao ramo da construção civil, também poderá gerar benefícios econômicos.

Com efeito, a fim de fazer a reutilização desses resíduos, objetivando a preservação ambiental, buscam-se meios para reduzir esse impacto ambiental gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), e estuda-se a possibilidade de sua reutilização na Engenharia, trazendo certos benefícios para a construção civil (PADOIN, 2011).

1.2. JUSTIFICATIVA

O tema tratado no presente trabalho é de extrema relevância em razão da preocupação com a destinação do lodo das Estações de Tratamento de Esgoto e a aplicação deste resíduo em materiais cerâmicos propiciando uma destinação ambientalmente correta para esse resíduo.

Considerando que os resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Esgoto são exemplos de materiais que podem danificar profundamente o meio ambiente, fica evidente a necessidade de se pensar em uma solução para o reaproveitamento desses resíduos, de maneira a reduzir os impactos provocados no meio ambiente.

O lodo pode ser utilizado na construção civil através da fabricação de produtos cerâmicos, da incorporação em argamassas e concretos, como também na substituição do agregado miúdo na fabricação de argamassas e concretos (AREIAS, 2015).

A elaboração deste trabalho visa proporcionar conhecimento específico sobre o reaproveitamento de resíduos das Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs na construção civil, a fim de contribuir para a preservação ambiental, e também para promover o desenvolvimento socioeconômico da comunidade onde será implantado.

Assim, pretende-se obter uma possibilidade de aplicação que contribua na minimização da problemática da disposição final desse resíduo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo acerca da viabilidade da incorporação de lodo das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na fabricação de tijolos cerâmicos, a fim de dar uma destinação mais adequada ao que é usado atualmente.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a- Realizar uma análise do processo de geração desses resíduos durante o tratamento dos esgotos;
- b- Discorrer sobre o processo de fabricação do tijolo cerâmico, bem como sobre a maneira de reaproveitamento dos resíduos das estações de tratamento de esgoto neste processo;
- c- Identificar a quantidade adequada do lodo de ETE a ser adicionado à massa argilosa;

- d- Atestar as propriedades físicas e mecânicas, absorção de água e tensão de ruptura à compressão, do tijolo cerâmico fabricado com a incorporação do lodo de ETE;

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 trata da introdução, que traz a importância do tema escolhido, a justificativa, os objetivos da pesquisa e sua estruturação.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que discorre sobre o processo de geração dos resíduos nas estações de tratamento de esgoto, bem como sobre a disposição final desses resíduos, além da composição e modo de fabricação do tijolo cerâmico.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada para a confecção deste trabalho, de caráter genérico e linguagem comum, a fim de propiciar a interação de uma equipe multidisciplinar, otimizando seus resultados.

O Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos que foram utilizados para a incorporação das cinzas do lodo da ETE na fabricação do tijolo cerâmico.

O Capítulo 5 apresenta os resultados dos testes de resistência feitos com os tijolos cerâmicos fabricados com a incorporação das cinza do lodo da ETE.

O Capítulo 6 traz as considerações finais da autora em relação às pesquisas bibliográficas e os resultados da fabricação do tijolo cerâmico com a incorporação das cinza do lodo da ETE.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Atualmente, nos processos e operações das estações de tratamento de esgoto é empregado um alto nível de tecnologia, porém, a destinação final que é dada aos resíduos retirados no tratamento preliminar na ETE ainda precisa de estudos, tanto em relação a novas pesquisas quanto em projetos, com a finalidade de se alcançar a utilização dos subprodutos passíveis de aproveitamento como matéria-prima ou como fonte de energia (BORGES, 2014).

O processo de tratamento de esgoto produz um resíduo em que se encontra matéria orgânica e nutrientes em abundância, que são denominados como lodo de esgoto ou lodo de ETE. COSTA (2008) destaca a importância desse material devido ao grande volume de massa que é produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto.

A Resolução nº 375, 2006 aponta que o lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto possui risco muito elevado à saúde pública, ao ambiente e à proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos.

O lodo de ETE integra a maior parte dos poluentes e patógenos presentes no esgoto sanitário, por essa razão existe a necessidade de que, antes de serem devolvidos à natureza, recebam tratamento específico, a fim de que não venham a causar impactos negativos no meio ambiente ou riscos à população (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Ademais, considerando o elevado teor de matéria orgânica que encontra-se neste tipo de resíduo, a reação exotérmica em razão da combustão do lodo de ETE durante a etapa de queima da cerâmica pode ocasionar uma significativa economia de combustível, trazendo benefícios econômicos para o setor (AREIAS, 2015).

Desse modo, o desenvolvimento de pesquisas sobre a reutilização dos resíduos de estações de tratamento de esgoto têm como finalidade, além da proteção e preservação do meio ambiente, que é o que mais importa na atualidade, a busca por meios que tragam também benefícios econômicos.

2.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A definição de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE se dá como o conjunto de instalações e equipamentos destinados a realizar o tratamento de esgoto sanitário. Sua composição é basicamente de grades, caixas de areia, decantador primário, lodos ativados e/ou filtro biológico, decantador secundário e secagem do lodo proveniente dos decantadores. Normalmente, esse processo requer pouca área, apresenta custos de construção relativamente altos e possui índices de eficiência elevados (Sanepar, 1999).

Quanto ao processo de tratamento de esgoto, o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2009) destaca que ele se forma por meio de várias operações unitárias, com eficiências distintas, empregadas para a retirada de substâncias indesejáveis ou mesmo a transformação dessas substâncias em outras de maneira aceitável. Nesse sentido é apresentada pelo Ministério uma tabela (Quadro 1) que traz a indicação de valores teóricos para a eficiência de diversos sistemas de tratamento, medidos em função da redução de matéria orgânica (DBO).

Quadro 1: Eficiência de diversos sistemas de tratamento de esgoto

Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário	Eficiência de remoção (%) DBO
Fossas Sépticas	35 a 60
Fossas Sépticas seguidas de Filtro Anaeróbio	75 a 85
Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente - UASB	55 a 75
Lodo Ativado Convencional	75 a 95
Lodo Ativado Aeração Prolongada	93 a 98
Reator UASB seguido de Reatores Biológicos	75 a 97
Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Estabilização	75 a 90
Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Decantação	70 a 90
Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa	70 a 90

Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2009

O sistema de tratamento biológico (Reator UASB seguido de Reatores Biológicos) é, geralmente, o mais utilizado nas Estações de Tratamento de Esgoto, em razão de sua semelhança ao processo de degradação que ocorre normalmente na natureza. Por meio desse processo os microrganismos presentes no esgoto degradam a matéria orgânica.

O tratamento de esgoto geralmente é dividido através dos seguintes subsistemas: Preliminar, Primário, Secundário e Terciário (Pós-tratamento). Como “sub-produto” do tratamento de esgoto tem-se o lodo de esgoto também denominado de biossólido. O Lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Em relação ao tratamento preliminar, sua função principal é a de remover os sólidos grosseiros e areias presentes no esgoto afluente e seu principal objetivo é evitar o acúmulo de sólidos grosseiros e material inerte e abrasivo nas tubulações e demais unidades da ETE por meio de processos físicos ou mecânicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

O tratamento primário compreende a unidades de tratamento que utilizam decantadores primários, que são processos de ação física que propiciam a sedimentação das partículas em suspensão ou, ainda, lagoas anaeróbias/reactores anaeróbios, que se utilizam das bactérias que proliferam em ambiente anaeróbio para a decomposição da matéria orgânica presente no esgoto. Enquanto o tratamento secundário é destinado à degradação biológica de compostos carbonáceos nos chamados reatores biológicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Por outro lado, A composição do lodo varia em função da origem do esgoto: Basicamente, o lodo de esgoto é composto de matéria orgânica e metais pesados como o cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb), entre outros elementos. Segundo PEGORINIET (2003) a disposição final do lodo de esgoto se configura como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes atualmente, e que aumenta diariamente nos países desenvolvidos e nos em desenvolvimento, como reflexo da ampliação das redes de coleta de efluentes urbanos e acréscimo dos níveis de tratamento.

Dentre as maneiras mais conhecidas de disposição final do lodo de esgoto tais como o aterro sanitário, a incineração, a disposição oceânica, inclusive o uso agrícola, que segundo IWAKI (2017), em áreas degradadas, por conta de sua composição química, é capaz de aumentar a eficiência da infiltração e retenção de água do solo. Além de ser possível a diminuição do gasto com o transporte de lodo em relação ao gasto com compra de fertilizantes, se a

distância entre o fornecedor do lodo e a área degradada não for superior a 150 quilômetros.

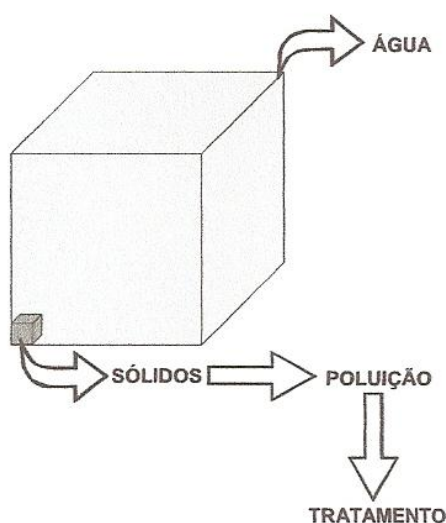
Ter conhecimento acerca das características do efluente e os processos de tratamento são de extrema importância como ressalta MACHADO (2014). Segundo ele, é importante o emprego de tecnologias que agreguem valor econômico e ambiental ao tratamento.

De acordo com MACHADO (2014), a produção de resíduos resultantes do tratamento de esgoto, possuem grande potencial energético. Portanto, a destinação que será dada a esses resíduos deve ser pensada pelo ponto de vista econômico e de preservação do meio ambiente.

2.1.1. Caracterização dos esgotos

Os esgotos que são destinados a uma Estação de Tratamento de Esgotos originam-se basicamente de três fontes deferentes, são elas: esgotos domésticos, águas de infiltração oriundas de tubos defeituosos, conexões, juntas ou paredes de poços de visita e despejos industriais. Assim, os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. Enquanto que a fração restante, 0,1% são os sólidos orgânicos e inorgânicos, em suspensão e dissolvidos, além dos microrganismos, que são a razão da necessidade de tratamento dos esgotos (SANTOS, 2003), conforme a ilustração da figura 1.

Figura 1: Sólidos nos esgotos

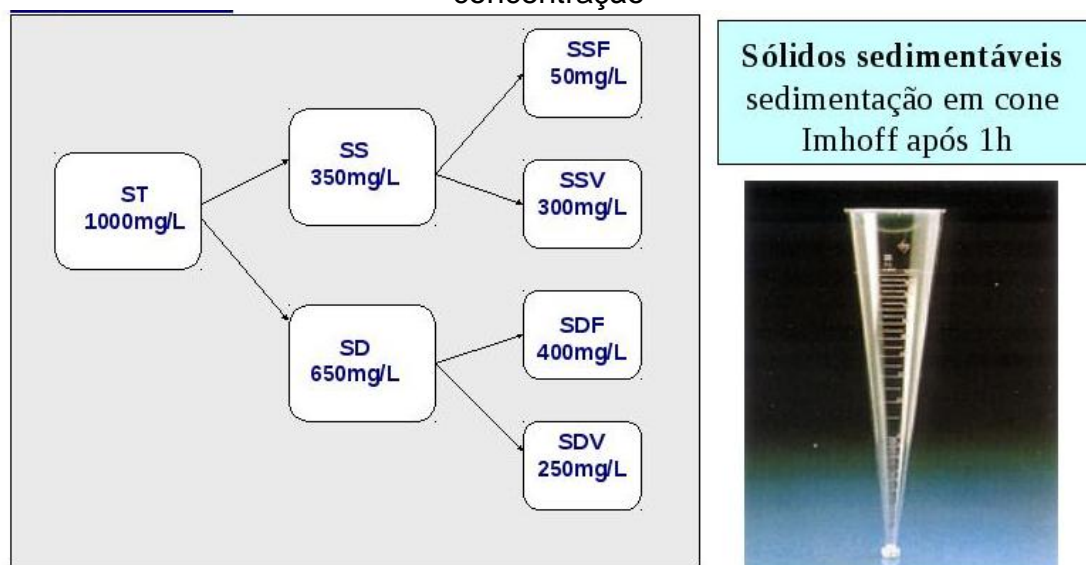


Para a determinação dos compostos presentes na água do esgoto são utilizados parâmetros indiretos que refletem o caráter ou o potencial poluidor do despejo, em termos físicos, químicos e biológicos (SANTOS, 2003).

De acordo com VON SPERLING (1996) os principais parâmetros para os esgotos predominantemente domésticos são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal.

Em relação aos sólidos, sua classificação pode se dar pelo tamanho e estado, em suspensão e dissolvidos, pelas características químicas, em voláteis e fixos e ainda, em sedimentáveis e não sedimentáveis. Essa classificação é feita deixando os resíduos por um período de uma hora em um recipiente denominado cone Imhoff (SANTOS, 2003). A figura 2 apresenta uma distribuição que é típica dos sólidos de esgoto bruto.

Figura 2: Distribuição aproximada dos sólidos do esgoto bruto, em termos de concentração



Fonte: TEIXEIRA , 2010 apud VON SPERLING, 1996

Por outro lado, a matéria orgânica é tida como característica muito importante nos esgotos porque os microrganismos que dela se alimentam consomem o oxigênio dissolvido na água (SANTOS, 2003).

Já o nitrogênio, no meio aquático é encontrado como nitrogênio molecular (N_2) sendo librado na atmosfera, como nitrogênio orgânico, que se apresenta dissolvido ou em suspensão, como nitrogênio amoniacal (NH_3 , livre,

e NH_4^+ , ionizada), ou ainda como nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). SANTOS (2003) destaca que:

[...] sua importância está relacionada com a geração e o controle da poluição das águas por: ser indispensável ao crescimento de algas, podendo levar a eutrofização de lagos e represas; consumir oxigênio dissolvido nas conversões de amônia para nitrito, e deste para nitrato; ser indispensável aos microrganismos do tratamento de esgotos; etc.

Sobre o fósforo SANTOS (2003) nos diz que:

O fósforo apresenta-se na água sob duas formas principais: total e solúvel. É essencial para o crescimento de microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e também para o crescimento de algas, podendo levar a eutrofização dos corpos d'água.

Em razão de sua baixa concentração, a detecção dos agentes patogênicos em uma amostra de água é de extrema dificuldade. Desse modo, determina-se sua presença por meio do estudo de organismos indicadores de contaminação fecal. De acordo com SANTOS (2003) tais organismos não são patogênicos, no entanto indicam quando uma água está contaminada por fezes humanas ou animais, além de sua potencialidade em causar doenças.

Por fim, em relação aos despejos industriais, para que haja a contaminação deve se levar em consideração alguns aspectos relativos a tratamentos biológicos, tais como: biodegradabilidade, tratabilidade, concentração de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e toxidez (SANTOS, 2003).

Quando o tratamento de esgotos domésticos e despejos industriais é realizado em uma mesma estação de tratamento de esgoto, faz-se necessária a remoção prévia de certos contaminantes dos despejos industriais.

2.1.2. Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto

No processo de tratamento de esgoto, os resíduos sólidos retirados são denominados lodos de esgoto. Neste lodo está contida a maior parte dos poluentes e patógenos que existem no esgoto sanitário. Por isso, antes de serem devolvidos à natureza, devem, também receberem um tratamento

específico, a fim de não causarem impactos negativos no meio ambiente ou riscos à população (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

A Resolução nº 375 de 2006 do CONAMA, alerta que os lodos de esgoto correspondem a uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente, além de potencializar a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos.

A geração do lodo de esgoto nas estações de tratamento vem crescendo de acordo com o aumento populacional. De acordo com IWAKI (2017), as estimativas apontavam, em 2010, uma produção nacional de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, levando-se em conta que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana.

Ainda segundo IWAKI (2017), com o tratamento de esgoto podem ser gerados dois tipos de resíduos: o efluente líquido, que já está pronto para ser devolvido ao meio ambiente e o lodo, que é um material pastoso com grande concentração de micro-organismos, sólidos orgânicos e minerais e que podem ser classificados como primário ou secundário.

O lodo primário é composto por sólidos sedimentáveis. Sua retirada pode se dar de forma contínua ou em intervalos de horas (SANTOS, 2003).

Segundo AREIAS (2015), ao ser removido do decantador, o lodo primário apresenta teores de sólidos totais de 1 a 7%, no entanto estes valores vão variar de acordo com o tipo do decantador utilizado e a forma de remoção do lodo. Desse modo, o teor de sólidos determinará se a remoção do lodo é contínua ou intermitente, hidráulica ou por dispositivos de sucção, dentre outros aspectos.

Já o lodo secundário é a etapa biológica do sistema de tratamento da fase líquida. Sua remoção, ao contrário do lodo primário, deve ser contínua. Os teores de sólidos totais do lodo secundário variam de 0,5 a 1,5%. (SANTOS, 2003).

Logo, os lodos secundários são os resíduos sólidos produzidos nos decantadores secundários. Sua coloração geralmente é marrom e sua aparência floclulenta (AREIAS, 2015).

Os lodos secundários são os que tendem a provocar um desagradável odor de material em putrefação ao se tornarem sépticos, mas quando frescos apresentam um odor de terra úmida. Por essa razão é de extrema necessidade

que este lodo seja digerido antes da destinação final (METCALF & EDDY, 1991).

Em relação à composição química do lodo, pode conter em sua composição elementos como: arsênio, bário, bádmió, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, zinco e etc. Os limites da presença desses materiais no lodo é determinado pela Resolução nº 375 de 2006 do CONAMA de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 1: Metais pesados presentes no lodo (ppm)

Lodo	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd
Ppm						
Cal 30%	803	273	44	30	26	0,5
Cal 40%	729	190	34	22	23	0,7
Cal 50%	545	149	43	14	16	0,3

Fonte: CONAMA, 2019

ARAÚJO (2008) ressalta que, do ponto de vista sanitário e ambiental, os componentes orgânicos e minerais presentes no lodo podem lhe conferir tanto características benéficas quanto indesejáveis. Os elementos principais que se apresentam em quantidades variáveis concentram-se ao longo do processo de tratamento do esgoto.

Destaque-se ainda, que a presença destes elementos no lodo de ETE se deve à qualidade do esgoto bruto, bem como do sistema de tratamento. Existem diversos processos de desinfecção do lodo que reduzirão seus níveis de agentes patogênicos. No entanto, os poluentes orgânicos e metais pesados precisam de métodos de descontaminação que são economicamente inviáveis, sendo melhor, neste caso, evitar-se a contaminação (SANTOS, 2003).

2.1.3. Reciclagem do lodo de estações de tratamento de esgoto

Atualmente a primordialidade em se encontrar alternativas seguras para o descarte do lodo de esgoto vai além das obrigações legais e vem se tornando cada dia mais necessária. Tendo por base o crescimento urbano acelerado e o conseqüente aumento do volume de lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgotos, as atitudes a serem tomadas em favor da sustentabilidade e da

responsabilidade ambiental estão interligadas e serão determinantes para a qualidade de vida das gerações futuras (IWAKI, 2017).

Considerando-se tal situação reduzir, reutilizar e reciclar é essencial para garantir processos mais econômicos e ambientalmente sustentáveis, tanto em áreas urbanas quanto rurais, em todos os ramos empresariais e industriais.

Como já mencionado, a disposição do lodo de ETE no Brasil geralmente é em aterros sanitários (JORDÃO, PESSÔA, 2005) ou lixões, e sobre esse assunto, trabalhos vêm sendo desenvolvidos para modificar esta situação a partir de ações preventivas, de redução e reciclagem, o lodo pode ter outros meios de disposição como disposição no solo, compostagem, incineração, matéria-prima em materiais cerâmicos e co-processamento com cimento.

Para que seja possível fazer a escolha da melhor alternativa de disposição final de lodos de esgoto é necessária a realização de uma avaliação integrada entre fatores de ordem técnica, social, ambiental e econômica, dada à complexidade do tema. Isso porque qualquer que seja a alternativa, ela precisa favorecer a disposição de forma econômica, ambientalmente aceitável e segura em termos de saúde pública (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Segundo AREIAS (2015), a opção de se aproveitar o lodo de ETE já é antiga em outros países e no Brasil vem crescendo. Ainda de acordo com a autora o uso de lodo líquido armazenado em lagoas de lodo para que sejam incorporados em momento posterior em solos agrícolas. Além de torta de lodo misturada à argila em proporções determinadas para produção de agregados leves para concreto.

A variação que já existe naturalmente em relação às características das argilas associada a técnicas de processamento relativamente simples e ainda a baixa performance exigida para os produtos permitem a presença de níveis de impurezas relativamente elevados. Com isso, se pode incorporar outros tipos de materiais resultantes das mais diversas fontes de geração (DONDI, 1997). Isso tem despertado o interesse da indústria de produtos cerâmicos para a possibilidade de utilização do lodo da ETE.

Em razão de sua grande produção e facilidade de incorporação dos mais variados resíduos, a indústria de cerâmica vermelha está entre as que mais reciclam os resíduos urbanos e industriais. O aproveitamento de resíduos não

é novidade e vários países já adotam essa técnica a bastante, principalmente em razão do esgotamento da matéria-prima e o aumento do volume dos resíduos produzidos (SILVA, 2006).

2.2. TIJOLOS CERÂMICOS

A busca pela melhor maneira de reaproveitar o resíduo sólido das Estações de Tratamento de Esgoto tem levado ao desenvolvimento de muitos trabalhos, sendo muitos relacionados ao reaproveitamento do lodo de ETE como matéria-prima alternativa incorporada em cerâmica vermelha (ARAÚJO, 2008).

COELHO (2009) ressalta que um dos produtos que mais consomem matérias-primas é a cerâmica estrutural a base de argila, principalmente para o uso na fabricação de blocos, tijolos e telhas. Apesar de haver, no Brasil, uma quantidade considerável de jazidas de argilas, muitas reservas possuem limitações para a extração por estarem em unidades de preservação ambiental ou pela indisponibilidade de outras em razão da ocupação do solo.

Por outro lado, a incorporação do lodo de ETE em uma massa cerâmica pode ser viável para a economia da argila utilizada na indústria cerâmica. AREIAS (2015) destaca que muito provavelmente a incorporação do lodo de esgoto a “uma massa cerâmica provavelmente deteriorarão as propriedades após queima e seu emprego estará condicionado tanto às outras matérias-primas usadas, quanto à quantidade de lodo que pode ser adicionado cumprindo os parâmetros para cada produto.”

2.2.1. Argila

A composição do material argiloso apresenta agregados de argilominerais que, quando em contato com a água, oferecem as propriedades frescas das argilas, tais como a plasticidade, a resistência mecânica a úmido, a retração linear de secagem, a compactação, a tixotropia e a viscosidade de suspensões aquosas (OLIVEIRA, 2011).

A argila é um material natural, terroso, de granulometria fina, que ao ser misturada com água, normalmente, adquire plasticidade. Além dos

argilominerais, outros materiais podem ser encontrados na argila, tais como a sílica livre, carbonatos, feldspatos, compostos de ferro e titânio, sais solúveis, matéria orgânica e resíduos carbonosos, que podem trazer alterações em relação à sua forma após a mistura com outras matérias primas (VERDUCH, 1995).

Segundo ALEXANDRE (1997), o termo argila é refere-se a uma faixa de partículas de solo com valores específicos, normalmente em dimensões reduzidas.

OLIVEIRA (2011) ressalta que as argilas ditas de queima vermelha são as que se destacam entre as substâncias minerais, por conta do maior volume de produção e consumo. Seu uso se dá principalmente na produção de cerâmica vermelha e revestimento.

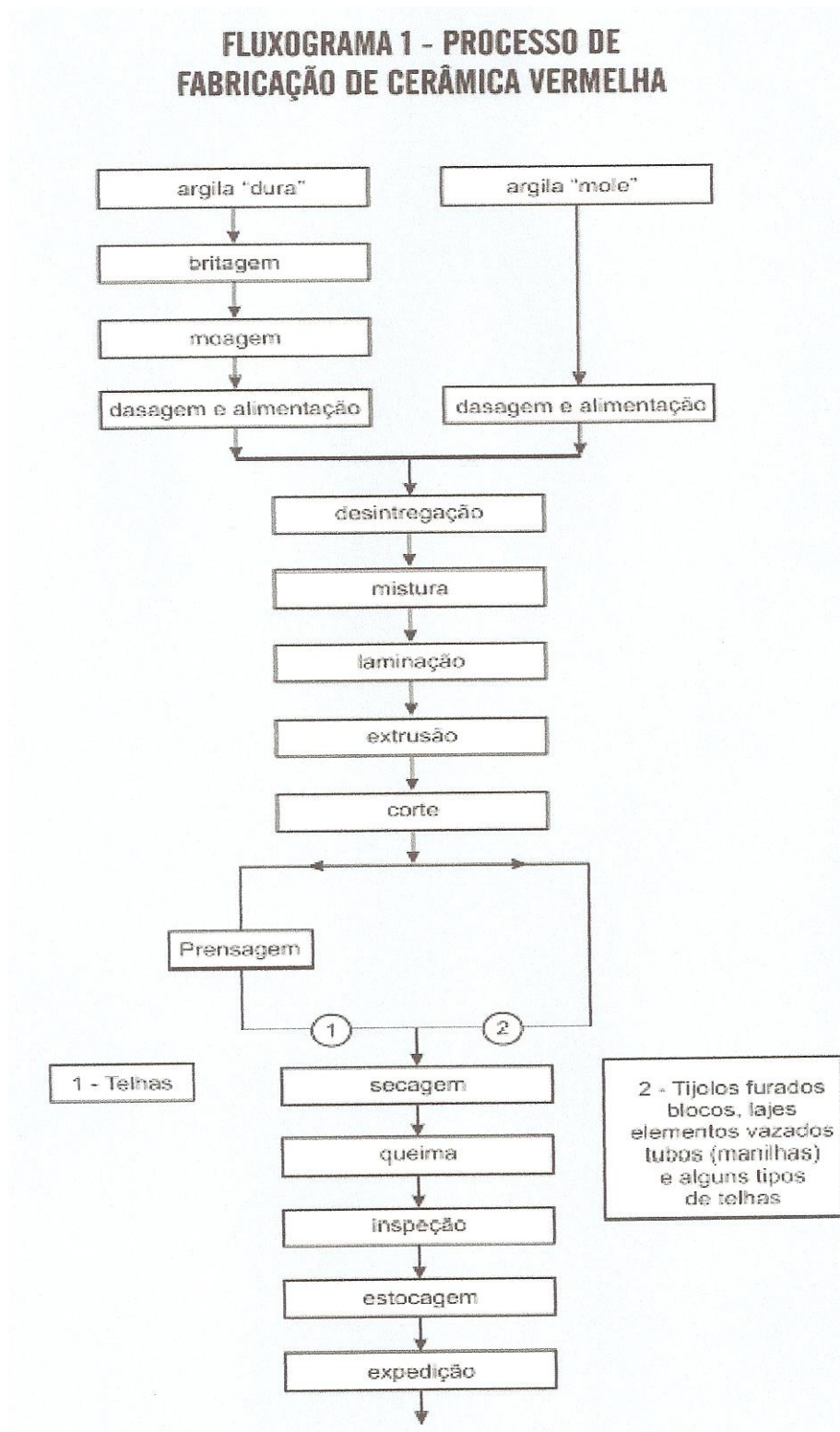
As características físicas da argila são, basicamente, a granulometria, plasticidade, contração na secagem, resistência à compressão do material seco, temperatura de queima, dentre outros. Conhecendo sobre os aspectos da argila é possível determinar a quantidade de água que será necessária para que seja possível a fabricação de um produto de qualidade (OLIVEIRA, 2011).

Por essa razão, AREIAS (2015) menciona a necessidade de que a amostra de uma argila seja bem descrita em relação ao tratamento prévio recebido, podendo fazer parte da especificação, a fim de que seja caracterizada corretamente. Logo, para fins tecnológicos a caracterização prévia de uma argila diz respeito à medição e/ou determinação experimental de propriedades como: textura, composição mineralógica, entre outros.

2.2.2. Cerâmica vermelha

Segundo OLIVEIRA (2011), parte dos processos produtivos das cerâmicas é mecanizado, e de forma geral a sequência que envolve o processo para a produção de peças é o mesmo, com poucas alterações de acordo com as especificações de cada produto. Nesse sentido a figura 3 demonstra, de maneira resumida o processo produtivo.

Figura 3: Processo de fabricação de cerâmica vermelha



Fonte: OLIVEIRA, 2011

De maneira geral, o processo descrito é comum a todas as empresas de cerâmica vermelha, com pequenas variações, em relação às características particulares de cada matéria-prima ou produto final (OLIVEIRA, 2011).

Os materiais cerâmicos são classificados basicamente em cerâmicos tradicionais e cerâmicos técnicos. Nesse sentido, de acordo com JORDÃO (1988), os cerâmicos tradicionais têm como matéria prima a argila, sílica e feldspato. Por outro lado, a composição dos cerâmicos técnicos é de materiais puros ou quase puros.

Por fim, destaque-se que os materiais cerâmicos são frágeis, em que pese serem considerados duros, possuem pouca tenacidade e ductilidade, bem como precisam de temperaturas de fusão relativamente altas e grande estabilidade química em muitos ambientes hostis em razão das suas fortes ligações químicas.

Dada à possibilidade de produção diversificada, o setor cerâmico é amplo e heterogêneo, dividindo-se em subsetores ou segmentos (AREIAS, 2015).

2.2.3. Incorporação de resíduos na fabricação de tijolos cerâmicos

Os tijolos cerâmicos aceitam diversos tipos de resíduos em razão da composição variada das massas argilosas e de sua plasticidade. Logo, a fim de diminuir os rejeitos vindos de diferentes atividades, a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha torna a destinação destes ambientalmente correto (DONDI, 1997).

As características dos resíduos classificam a incorporação às massas cerâmicas, são estes: resíduos combustíveis, resíduos cinzas volantes, resíduos fundentes e resíduos redutores de plasticidade e plastificantes. Aqueles que interferem na absorção de água, resistência mecânica e retração linear.

A classificação do lodo de ETE é de resíduo que interfere nas propriedades cerâmicas e como resíduo combustível e ao se incorporar em cerâmica vermelha pode diminuir a quantidade de água adicionada a massa cerâmica e com isto reduzir a retração de secagem melhorando a qualidade do produto final (VIEIRA E MONTEIRO, 2009).

A geração dos resíduos é preocupante devido algumas indústrias fazer a disposição inadequada, não cumprindo a legislação. As pesquisas sobre incorporação de resíduos em materiais cerâmicos vêm se tornando cada vez

mais frequente e é de interesse científico por apresentar vantagens. Além do mais a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha pode minimizar os prováveis impactos causados ao ambiente se forem rejeitados inadequadamente.

De acordo com a norma técnica NBR 10004 (ABNT, 2004), o resíduo de ETE na forma bruta é classificado como Classe I - perigoso devido apresentar características de periculosidade.

DONDI (1997) ainda destaca que pode-se classificar os resíduos sólidos quanto sua incorporação na cerâmica vermelha, os autores classificam o resíduo de ETE como resíduo combustível. Ainda sobre incorporação de resíduos em cerâmica vermelha, Vieira e Monteiro (2009) classificam o lodo de ETE como resíduo combustível bem como resíduos que afetam as propriedades cerâmicas.

3. METODOLOGIA

Partindo do princípio de que a pesquisa neste trabalho envolve um conjunto amplo de conhecimentos, de forma a gerar uma alternativa técnica e ambientalmente aceitável, socialmente adequada e viável economicamente, sua integração é de extrema importância desde a concepção até a produção em escala real.

A fim de se alcançar o objetivo tem-se a necessidade de uma metodologia genérica e de linguagem comum, que seja capaz de propiciar a interação de uma equipe multidisciplinar, otimizando seus resultados.

Inicialmente, foi realizada uma busca por informações que pudessem auxiliar na compreensão inicial do tema a ser desenvolvido, baseado em uma pesquisa bibliográfica, utilizando como fonte principal revistas do meio, dissertações, livros, bem como normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na fase introdutória foram pesquisados os materiais, operacionalização e destinação dos resíduos sólidos das Estações de Tratamento de Esgoto.

No segundo momento foi realizado o levantamento dos dados sobre a produção de lodo da Estação de Tratamento de Esgoto de Caratinga/MG a partir de informações coletadas junto à COPASA de Caratinga/MG, por meio de visitas à Estação de Tratamento de Esgotos, entrevistas com responsáveis pelo assunto na empresa, bem como consulta a documentos internos pertinentes ao tema.

Do mesmo modo, a caracterização do resíduo foi retirada de relatórios disponibilizados pela COPASA de Caratinga/MG, bem como a realização de algumas análises no laboratório das Faculdades Doctum de Caratinga.

Com efeito, no período em que foi desenvolvido este trabalho a Estação de Tratamento de Esgoto de Caratinga/MG não tinha resíduos e por essa razão as amostras de lodo foram coletadas da Estação de Tratamento de Esgoto de Ipatinga/MG da COPASA.

Para que fosse feita a coleta na Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA de Ipatinga o responsável pela Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA de Caratinga fez um ofício permitindo a coleta dos resíduos em Ipatinga.

Após a realização da coleta passou-se ao processo de transformação do lodo em cinzas para sua incorporação ao material para a fabricação do tijolo cerâmico. A escolha em utilizar as cinzas do lodo da ETE na confecção deste trabalho se deu depois de estudos de dissertações de mestrado e artigos em que foram fabricados tijolos cerâmicos com incorporação das cinzas do lodo da ETE. Na descrição dos materiais e métodos utilizados foram citadas as fontes dos estudos preliminares.

Em seguida foram fabricados os tijolos com os resíduos coletados e já transformados. A fabricação foi realizada em maquinário e espaço cedido a esta autora por uma empresa do ramo situada na cidade de Caratinga/MG.

A partir do material coletado foram produzidos 120 tijolos, divididos conforme as proporções de incorporação das cinzas do lodo de ETE, que foram de 5%, 10% e 15%.

Concluído o processo de fabricação dos tijolos, passou-se aos testes de resistência, que foram feitos no laboratório das Faculdades Doctum de Caratinga.

Os testes foram feitos com base na NBR 15270-3: 2005, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que versa sobre blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

Após analisadas todas as informações levantadas durante o período de estudo e os resultados obtidos com os testes práticos, foi realizada a triagem e organização dos dados, para então apresentá-las num contexto lógico e conclusivo, elaborando, portanto, as considerações finais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos utilizados para os experimentos foram coletados no dia 04 de maio de 2019 na ETE de Ipatinga/MG e armazenados em recipiente com tampa e sistema de lacre e transportado para o local da realização dos experimentos em Caratinga/MG.

Figura 5: Estação de Tratamento de Esgoto de Ipatinga/MG



Fonte: Acervo da autora

A figura 6 apresenta a Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA, no município de Ipatinga (unidade geradora do lodo usado no experimento).

Figura 6: Vista da Estação de Tratamento de Esgoto de Ipatinga/MG



Fonte: Acervo da autora

Por outro lado, a figura 7 mostra o local de armazenamento do lodo dentro da Estação de Tratamento de Esgoto.

Figura 7: Tanque de armazenamento do lodo



Fonte: Acervo da autora

A figura 8 mostra a retirada de amostras do material para o uso no presente trabalho. Para as pesquisas desse trabalho foram coletados 100 kg de lodo.

Figura 8: retirada do lodo para utilização no experimento



Fonte: Acervo da autora

Para a realização dos experimentos conseguiu-se que uma empresa de fabricação de tijolos cedesse seu espaço fora do horário de funcionamento, o maquinário, bem como um funcionário para operar o maquinário. A empresa fica localizada no município de Caratinga/MG. A figura 9 mostra parte da empresa que fez a cessão.

Figura 9: Parte do maquinário utilizado para a produção dos tijolos



Fonte: Acervo da autora

Para a incorporação do lodo da ETE na fabricação do tijolo cerâmico os resíduos foram transformados em cinza a uma temperatura de 1000°C , visto que este processo é de extrema importância principalmente em razão da necessidade de descontaminação do material.

Sobre o uso das cinzas do lodo, SANTOS (2003) destacou em sua dissertação vários trabalhos feitos a partir de tal transformação. Desse modo, “a School of Civil and Structural Engineering, Singapura, trabalha intensamente

com o aproveitamento das cinzas provenientes da incineração do lodo de esgoto.”

Por outro lado, TAY (1987) fabricou tijolos a partir das cinzas do lodo de ETE misturadas com argila, encontrando resistências a compressão de cerca de 70 MPa para composições com 40% de cinzas e redução da massa específica em relação ao bloco convencional.

Existem outras formas de incorporação do lodo na fabricação de tijolos cerâmicos. Assim, SANTOS (2003) apresentou uma tabela em que se faz uma comparação de algumas propriedades com proporções diferentes de incorporação.

Figura 10: Tabela de propriedades dos blocos cerâmicos de diferentes pesquisas de incorporação de lodo

% resíduo massa	Blocos com incorporação de tortas de lodo									
	Massa específica (g/cm ³)		Absorção (%)		Retração de secagem (%)		Retração de queima (%)		Resistência a compressão (MP _a)	
	A	B	A	B	A	C	A	C	A	B
0	2,38	2,09	0,03	6,4	4,0	-	9,91	-	87,2	34,6
10	2,32	1,91	0,74	8,6	4,2	-	10,15	-	59,9	25,4
20	2,24	1,76	1,37	13,6	3,7	-	10,84	-	45,9	21,5
30	2,17	1,63	2,58	15,8	4,2	11,1	12,26	3,6	39,5	16,9
40	1,98	-	3,63	-	4,0	-	12,87	-	37,9	-
% resíduo massa	Blocos com incorporação de cinzas de lodo									
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
0	2,38	1,88	0,03	13,25	4,0	3,4	9,91	1,0	87,2	46,2
10	2,42	1,69	0,07	18,80	2,5	2,1	9,95	1,1	85,7	29,2
20	2,46	1,56	0,11	19,37	2,05	1,2	9,10	2,1	80,0	21,5
30	2,50	1,50	1,39	22,54	3,4	0,5	9,36	3,5	70,7	18,5
40	2,55	-	1,52	-	3,2	-	9,79	-	70,5	-
50	2,58	-	1,70	-	3,0	-	10,51	-	69,4	-

Fonte: SANTOS, 2003

SANTOS (2003) concluiu em sua dissertação que a qualidade da superfície do tijolo feito com as cinzas foi superior ao de outros métodos pesquisados, assim como outros trabalhos pesquisados. Por essa razão esse foi o método escolhido para esta pesquisa.

Os tijolos foram feitos a partir da cinza dos resíduos da ETE. A incineração do lodo para a obtenção da cinza foi realizada no forno da referida

empresa, sendo os resíduos incinerados a uma temperatura de 1000° para que fosse feita a descontaminação do produto, conforme figura 11.

Figura 11: Cinza do lodo da ETE



Fonte: Acervo da autora

A figura 12 mostra o maquinário para a confecção do tijolo. A máquina molda os tijolos para que fiquem todos com as mesmas dimensões.

Figura 12: Maquinário que molda os tijolos



Fonte: Acervo da autora

De outro modo, foram produzidos 120 tijolos em duas etapas, realizadas nos dias 11 e 18 de maio de 2019. Para o processo contamos com o auxílio do funcionário da empresa que é o responsável por operar a máquina, bem como um ajudante pessoal. A figura 13 ilustra o processo de mistura da cinza do lodo de ETE à argila, que é matéria prima da fabricação do tijolo cerâmico.

Figura 13: Mistura da cinza do lodo com a argila



Fonte: Acervo da autora

A figura 14 mostra o processo de mistura do material na máquina. De se ressaltar que a mistura deve ser bem feita a fim de se alcançar um resultado homogêneo.

Figura 14: Mistura do material na máquina



Fonte: Acervo da autora

A figura 15 mostra os tijolos já fabricados, todos nas mesmas dimensões na parte da esteira do maquinário.

Figura 15: Tijolo moldado



Fonte: Acervo da autora

A figura 16 mostra os 120 tijolos fabricados com a incorporação das cinzas de lodo da Estação de Tratamento de Esgoto.

Figura 16: Tijolos produzidos



Fonte: Acervo da autora

A figura 17 mostra exemplares do tijolo produzido com 5%, 10% e 15% de lodo adicionado a argila cerâmica, sendo da esquerda para a direita o de 5%, de 10% e de 15%, respectivamente.

Figura 17: Exemplares dos tijolos para os testes



Fonte: Acervo da autora

Posteriormente coletou-se 0 exemplares de cada uma das amostras com lodo adicionado para o teste de resistência, cujos resultados obtidos serviram de base para aferir a qualidade do tijolo final.

5. RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA

5.1. TIJOLOS

Foram feitos por esta autora 120 tijolos cerâmicos em três proporções diferentes de incorporação das cinzas de lodo da ETE, sendo 40 com incorporação 5% das cinzas, 40 com incorporação de 10%, e 40 com incorporação de 15%, conforme o quadro 2. Denominados posteriormente de tijolo (A), tijolo (B) e tijolo (C) respectivamente.

Quadro 2: Tijolos produzidos

Amostras	Quantidade produzida	Proporção de incorporação das cinzas do lodo de ETE
Tijolo (A)	40 unid.	5%
Tijolo (B)	40 unid.	10%
Tijolo (C)	40 unid.	15%

Fonte: Acervo da autora

Os tijolos foram produzidos com dimensões de 29x14x19cm (Comp. x Larg. x Alt.), conforme se vê figura 18.

Figura 18: Tijolos cerâmicos produzidos



Fonte: Acervo da autora

5.2. EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados nesta pesquisa foram o tanque de água, a balança de aferição manual, a balança de bancada e a máquina de compressão.

A figura 19 mostra o tanque em que os corpos de prova ficaram imersos em água pelos prazos necessários para realização dos testes.

Figura 19: Tanque de água



Fonte: Acervo da autora

Já a figura 20 mostra a balança de aferição manual utilizada para a pesagem dos corpos de teste imersos em água.

Figura 20: Balança de aferição manual



Fonte: Acervo da autora

A figura 21 mostra a balança de bancada para aferição do peso dos corpos de prova após absorção da água, bem como o peso de secagem.

Figura 21: Balança de bancada



Fonte: Acervo da autora

A figura 22 mostra a máquina em que foi realizada a compressão dos corpos de prova para os testes de resistência.

Figura 22: Máquina de ensaio de compressão



Fonte: Acervo da autora

5.3. DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

Para o ensaio de absorção d'água foram separados um tijolo cerâmico de cada amostra (A), (B) e (C) e imersos em água a temperatura ambiente por 24 horas. Após as 24 horas os corpos de prova saturados foram colocados em uma bancada para que o excesso de água escorresse. A água remanescente foi removida com o auxílio de um pano úmido sendo depois efetuadas as pesagens dos corpos de prova úmidos (MU).

A figura 23 ilustra a parte do trabalho referente à pesagem do corpo de prova molhado e enxugado. Nela tem-se o peso do corpo de prova (A).

Figura 23: Peso do corpo de prova (A) molhado



Fonte: Acervo da autora

Após os testes de absorção, os tijolos foram submetidos à secagem em estufa por 24 horas, a uma temperatura de 110° C, conforme a NBR 15270-3:2006.

Depois das 24 horas em estufa foi determinada a massa seca individual. A figura 24 ilustra as pesagens feitas com os corpos de prova após a secagem. Na imagem tem-se a pesagem do corpo de prova (B).

Figura 24: Peso massa seca do corpo de prova (B)



Fonte: Acervo da autora

Foi realizado também um ensaio em que uma amostra de cada corpo de prova (A, B e C) foram imersos em água a temperatura ambiente por 6 horas e após esse período foram pesados ainda imersos na água. A figura 25 ilustra as pesagens feitas com os corpos de prova ainda imersos em água.

Figura 25: Pesagem do corpo de prova (C) imerso



Fonte: Acervo da autora

5.4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS

A determinação da resistência à compressão dos tijolos cerâmicos se deu conforme a NBR 15270-3: 2006. Os tijolos foram rompidos posteriormente à secagem. Na figura 26 tem-se a ilustração dos testes de resistência à compressão, representada pelo corpo de prova (A).

Figura 26: Tijolo sendo prensado



Fonte: Acervo da autora

A figura 27 ilustra os valores dos testes de resistência à compressão. A imagem representa a compressão do corpo de prova (A).

Figura 27: Compressão do corpo de prova (A)



Fonte: Acervo da autora

O item seguinte apresenta os resultados obtidos a partir dos cálculos realizados com os valores alcançados nos testes para a determinação da massa seca e do índice de absorção d'água, bem como para a determinação da resistência à compressão dos tijolos.

5.5. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios para determinação de massa seca, absorção de água e resistência à compressão foram confrontados com a NBR 15270-3: 2006.

O quadro 3 apresenta os resultados do ensaio de absorção d'água dos tijolos cerâmicos.

Quadro 3: Resultados absorção d'água

AMOSTRA	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g)	% Absorção de Água
(A)	3,83	4,8	22,03
(B)	3,86	4,8	24,31
(C)	3,85	4,8	26,31

Fonte: Acervo da autora

Segundo as informações do quadro 3, a absorção do tijolo cerâmico apresenta uma variação entre 22 e 27%. De acordo com a NBR 15270-2:2005 a faixa de absorção aceitável é de 8 a 22%.

O quadro 4 apresenta os resultados do ensaio da resistência à compressão.

Quadro 4: Resultados ensaio resistência à compressão

T.F.	Tensão (MP _a)
1,57	21,78
1,82	25,09
1,72	23,71
1,48	20,40
1,84	25,37
1,66	22,89

Fonte: Acervo da autora

Após a realização dos cálculos, todos de acordo com a NBR 15270-2: 2005, a resistência a compressão característica das amostras de tijolos obteve uma média de 20,40 MP_a em relação ao corpo de prova (A), atendendo ao requisito de resistência para função estrutural, conforme a referida norma.

6. CONCLUSÃO

Com os ensaios realizados observou-se que a incorporação de lodo de ETE provocou alterações significativas nas propriedades tecnológicas dos tijolos cerâmicos. Foi constatado que as cinzas de lodo de ETE em proporções acima de 10% tende a diminuir a massa específica e resistência à compressão e aumentar a absorção de água.

Os limites de absorção d'água foram atendidos pelos tijolos (A). Do mesmo modo, a resistência à compressão dos tijolos (A) atendem aos requisitos de suas normas específicas para a função estrutural. Logo, os ensaios comprovaram que o uso das cinzas de lodo de ETE na proporção de 5% não compromete a função estrutural do tijolo, podendo, esse resíduo, ser aproveitado na construção civil.

Baseando-se nos resultados obtidos neste trabalho, é tecnicamente possível a destinação final do lodo de ETE na fabricação de tijolos cerâmicos. O que se sugere é que o resíduo de ETE utilizado seja adicionado à massa cerâmica numa quantidade de até 5% em peso. O principal efeito deste tipo de resíduo na fabricação de tijolo cerâmico é a redução do gasto energético durante a etapa de queima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10004** - Resíduos sólidos – Classificação. 2004. Disponível em <<http://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>> Acesso 22 jun. 2019.

ABNT. **NBR 15270-3** Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. 2005. Disponível em <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR_15270_3_2005.PDF> Acesso 18 maio 2019.

ALEXANDRE, J. **Caracterização das argilas do município de Campos dos Goytacazes para utilização em cerâmicas vermelhas**. Tese (mestrado em ciência de engenharia), UENF, Campos dos Goytacazes. 1997.

ARAÚJO, Franciulli da Silva Dantas de. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008. p. 2. Disponível em <[file:///C:/Users/Alexandra%20Correa/Downloads/FranciulliSDA%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Alexandra%20Correa/Downloads/FranciulliSDA%20(1).pdf)> Acesso 18 abril 2019.

AREIAS, Isabela Oliveira Rangel. **Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Campos dos Goytacazes - RJ em cerâmica vermelha**. Dissertação de Mestrado Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2015. Disponível em <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-ISA-mod.pdf>> Acesso 25 maio 2019.

BORGES, Nayara Batista. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. Tese Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-16012015-153958/pt-br.php>> Acesso 19 abril 2019.

BRASIL. **Resolução nº 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006**. CONAMA. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>> Acesso 08 jun. 2019.

COELHO, J. M. **Relatório técnico 32: perfil da argila**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME, 2009. 30p. disponível em < http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P23_RT32_Perfil_da_Argila.pdf/b6fc71dc-3c0a-4eb1-b2a5-df62b2c3bec0> Acesso 30 jun. 2019.

COSTA, M. C. R., et al. **Diagnóstico ambiental da área industrial contaminada por metais pesados**. Revista de biociências.Vol.14, n.1, p. 51-61. 2008.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABRI, B. **Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A review**.Tile & Brick Int, v. 13, n. 3, p. 218-225. 1997.

FRÉSCA, Fábio Rogério Carvalho. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 2007. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-09042008-111912/pt-br.php> > Acesso 25 maio 2019.

INGUNZA, M. P. D. et. al. **Uso de lodo de ETE como matéria prima para fabricação de tijolos na região Açú/RN/Brasil**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

IWAKI, Gheorge. **Destinação Final de Lodos de ETAs e ETEs**. 2017. Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-et-es/>> Acesso 30 jun. 2019.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. p. 932. 2005.

MACHADO, Gleysson B. **Processos de tratamento de esgoto sanitário**. 2014. Disponível em <<https://portalresiduossolidos.com/processos-de-tratamento-de-esgoto-sanitario/>> Acesso 26 jun. 2019.

METCALF & EDDY, **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf& Eddy, Inc. 3. ed, 1334 p. 1991.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais**: Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA, 2009. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc/_publicacao/76_publicacao19042011110356.pdf> Acesso 26 jun. 2019.

OLIVEIRA, Fabson Emerson Marrocos de. **Acompanhamento da produção industrial em cerâmica da microrregião do Vale do ASSU: estudo de caso**. Angicos/RN, 2011. Disponível em <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/arquivos/Fabson%20Emerson%20Marrocos%20de%20Oliveira.pdf>> Acesso 30 jun. 2019.

PADOIN, Eduardo Búrigo. **Estudo da utilização do resíduo gerado por ETE do processo de anodização do alumínio em cerâmica vermelha**. Criciúma, 2011. Disponível em <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/1352>> Acesso 13 jun. 2019.

PALMONARI, C.; TIMELLINI, G. **A indústria de revestimento italiana e o Meio Ambiente**, *Cerâmica Industrial*, 7: 7-11. 2002.

SANTOS, Ailton Dias dos. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. Disponível em <file:///C:/Users/Jessica%20Maria/Downloads/Dissertacao%20(2).pdf> Acesso 25 maio 2019.

SANTOS, P. Souza. **Ciência e Tecnologia das argilas**. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, vol. 1, p. 499. 1989.

SILVEIRA, Leonardo Ramos da. **Aspectos geotécnicos e ambientais para a disposição adequada de lodo de esgoto**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, p. 214. 2014.

SPERLING, M. Von. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. v. 2. p. 211, 1996.

TEIXEIRA, Ricardo. **Tratamento de esgoto**. 2010. Disponível em <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABO8QAH/08-esgotos-caracterizacao>> Acesso 09 jun. 2019.

VERDUCH, A. G. **Características de las arcillas empleadas en la fabricación de ladrillos**. *Técnica Cerâmica*. 232: 214-228. 1995.

VIEIRA, C. M. F.; HOLANDA, J. N. F.; PINATTI, D. G. **Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes - RJ**. *Cerâmica*, v. 46 n° 297. 2000.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. 2009. **Incorporation of solid wastes in red ceramics - an updated review**. *Revista Matéria*, v. 14, n. 3, p. 881 - 905.

Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-6209000300002&script=sci_arttext. Acesso 20 jun. 2019.

ANEXO A
OFÍCIO DA COPASA



19/001389
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
Credenciado pela Portaria nº 3.977, de 06/12/2004
Curso: Engenharia Civil
Reconhecido pela Portaria nº 47 de 22/05/2012

OFÍCIO

**Endereçado a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA).
Gerente Regional distrito de Caratinga-MG – Sr. José Augusto Neves dos Reis.**

Venho por meio deste solicitar a esta Companhia a permissão e acompanhamento técnico, para retirada de aproximadamente 60 kg de lodo da ETE, onde a aluna Alexandra Alves Correa matrícula nº 140800004 do 10º período do curso de Engenharia Civil, necessitará deste resíduo para desenvolvimento de seu trabalho de conclusão de curso (TCC). Este acompanhamento auxiliará certamente a discente a concluir sua graduação com participação desta Companhia.

A Rede de Ensino Doctum já agradece a colaboração para a vida profissional dos nossos alunos.

Caratinga – MG, 22 de abril de 2019.

Atenciosamente,

Prof. João Moreira de O. Júnior
Coordenador dos Cursos de
Engenharia Civil e Elétrica
Faculdades Doctum de Caratinga

ENTRADA DTCA
EM 25/04/2019
Edmundo V. do Carmo
Mat. 22676