



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

DEYVID RUFATTO DA SILVA

GUSTAVO ROSA

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS, ENTRE O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO,
TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA E O TIJOLO CERÂMICO**

Tubarão

2020

**DEYVID RUFATTO DA SILVA
GUSTAVO ROSA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS, ENTRE O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO,
TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA E O TIJOLO CERÂMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.^a Madelon Rebelo Peters

Tubarão
2020

**DEYVID RUFATTO DA SILVA
GUSTAVO ROSA**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS, ENTRE O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO,
TIJOLO DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE ÁGUA E O TIJOLO CERÂMICO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 06 de agosto de 2020.

Professora e orientadora Madelon Rebelo Peters, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Gil Felix Madalena, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Leonardo Schmitz de Figueiredo, Eng^o Civil
Tubarão Saneamento S.A.

Dedicamos este trabalho aos nossos pais que são nossos maiores exemplos de vida, e que nos proporcionaram todos os ensinamentos e incentivos necessários para concluirmos esta grande etapa em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por nos ter proporcionado saúde e fé para superarmos todos os nossos desafios e dificuldades.

Agradecemos a todos familiares que estiveram conosco ao longo de toda a jornada acadêmica, nos incentivando e nos dando todo o apoio necessário para que não desistíssemos no meio desta caminhada.

A todos os professores que nos compartilharam além de todo o conteúdo acadêmico, mas também experiências de vida, vívidas no mundo profissional, mostrando-nos a importância de termos uma carreira com ética e profissionalismo. Em especial a nossa orientadora Madelon Rebelo Peters, que esteve sempre disposta a nos ajudar com suas correções, puxões de orelha e incentivos, que foram fundamentais para que pudéssemos concluir mais uma etapa em nossas vidas e em especial também ao professor Rennan Medeiros da Silva que esteve sempre disposto a tirar dúvidas e nos auxiliar nesta etapa.

A todos nossos amigos e colegas que estiveram ao nosso lado ao longo dos últimos anos nos melhores e piores momentos, enfrentando todos os desafios ao longo do curso, criando um laço de amizade que levaremos para a vida fora da universidade.

Por fim, mas não menos importante, agradecemos a todos que de forma direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação acadêmica, a todos, o nosso muito obrigado.

RESUMO

Atualmente, parte do lodo gerado em Estações de Tratamento de Água (ETAs) no Brasil ainda é disposta em aterros sanitários, principalmente nos mananciais superficiais. O interesse no reaproveitamento deste resíduo é devido as legislações ambientais restritivas e custos de transportes elevados. Para a verificação dos possíveis usos, se faz necessário o conhecimento das características do lodo e a viabilidade econômica proposta no processo de reaproveitamento deste resíduo. Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade econômica e o volume de lodo incorporado no processo de produção de tijolos ecológicos, tendo como base a elaboração de plantas arquitetônicas de uma residência de baixo padrão de 45m² para realização de um comparativo de custos entre os tijolos solo-cimento convencional, tijolos solo-cimento-lodo e tijolos cerâmicos. Os resultados obtidos no comparativo de custos, demonstram que a execução da alvenaria em tijolos solo-cimento convencional trouxe uma economia financeira de 36,93% se comparado com tijolos cerâmicos e ocorreu a redução de 1.100 quilogramas de matéria-prima natural. Quando incorporado lodo de ETA na fabricação de 9.240 tijolos, que corresponde a quantidade necessária para execução das alvenarias da obra em questão, também trouxe economia financeira de 37,13% se comparado com tijolos cerâmicos. Podemos observar que a incorporação do lodo de ETA nos tijolos de solo-cimento para a construção civil, traz resultados financeiros positivos para todas as partes envolvidas. Do ponto de vista sustentável e ecológico, podemos afirmar que a utilização do lodo como matéria prima trará enormes vantagens para a população, garantindo um futuro melhor e cuidando do meio ambiente, que é de fundamental importância para a vida dos seres vivos.

Palavras-chave: Lodo de ETA. Tijolo ecológico. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Currently part of the sludge generated in Water Treatment Plants (WTP's) in Brazil is disposed in landfills, mainly in superficial springs. The interest in given the sludge a reuse is due to restrictive environmental legislation and high transportation costs of this waste. In order to verify the possible uses, it is necessary to know the characteristics of the sludge and if the process proposed for the reuse is financially viable. This work aims to evaluate the economic viability and the volume of sludge incorporated in the ecological brick production process, based on the elaboration of architectural plans of a low standard residence of 45m² to make a cost comparison between the conventional soil-cement bricks, soil-cement sludge bricks and ceramic bricks. The results obtained in the comparison of costs show that the execution of masonry in conventional soil-cement bricks brought financial savings of 36.93% compared to ceramic bricks, and there was a reduction of 1,100 kilograms of natural raw material. When incorporated sludge from the WTP in the manufacture of 9,240 bricks, which corresponds to the amount necessary for the execution of masonry of the work in question, also brought financial savings of 37.13% if compared with ceramic bricks. In conclusion, the incorporation of sludge from the WTP in soil-cement bricks for civil construction brings positive results in the economic and environmental spheres. From a sustainable and ecological point of view, we can state that the use of sludge as a raw material will bring enormous advantages to the population, guaranteeing a better future and taking care of the environment which is fundamentally important for the life of living beings.

Keywords: ETA sludge. Ecologic brick. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração esquema de tratamento de água convencional	18
Figura 2 – Diferentes frações de água em lodos de ETAS	20
Figura 3 – Fluxograma demonstrativo dos processos de secagem	21
Figura 4 – Prensa manual comercializada nos dias atuais.....	28
Figura 5 – Tipos de tijolos fabricados a partir de uma prensa manual.....	28
Figura 6- Processo de fabricação de tijolos de solo-cimento.	29
Figura 7 – Difração de raios X do lodo.	35
Figura 8 – Difração de raios-X do solo.	35
Figura 9 – Evolução da absorção de água dos tijolos com 3% de lodo.....	36
Figura 10 – Evolução da resistência à compressão dos tijolos com 3% de lodo.....	37
Figura 11 – Variação da absorção de água dos tijolos com 5% de lodo.	37
Figura 12 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 5% de lodo.	38
Figura 13 – Variação da absorção de água dos tijolos com 8% de lodo	38
Figura 14 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 8% de lodo.	39
Figura 15 – Variação da absorção de água dos tijolos com 10% de lodo	39
Figura 16 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 10% de lodo.	40
Figura 17- Planta baixa.....	42
Figura 18 - Corte BB	43
Figura 19- Fachada frontal	43
Figura 20 – Tijolo Cerâmico	44
Figura 21 – Tijolo Solo-Cimento.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição granulométrica de lodo de ETA obtidos de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984).....	22
Tabela 2 – Limites de Liquidez (LL), Limites de Plasticidade (LP) e Índices de Plasticidade (IP) de lodos de ETA, determinados com base nas normas NBR 6459 e NBR 7180	23
Tabela 3 – Critérios para a seleção de solos para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012)	31
Tabela 4 – Proporção dos principais componentes do cimento e suas propriedades	32
Tabela 5- Dimensões da residência	42
Tabela 6-Composição de preço do tijolo solo-cimento por metro quadrado	47
Tabela 7- Custos de alvenaria de tijolo solo-cimento	48
Tabela 8 – Composição de preço do tijolo solo-cimento com incorporação de lodo por metro quadrado	48
Tabela 9- Custos de alvenaria de tijolo solo-cimento com lodo	48
Tabela 10 - Custos de alvenaria de tijolos cerâmicos.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos realizados com emprego de lodo de ETA.....	24
---------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALAF – Água de Lavagem de Filtros

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

ETA – Estação de Tratamento de Água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Técnica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 IMPORTÂNCIA DA ABASTECIMENTO PÚBLICO	17
2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM ETAS CONVENCIONAIS	17
2.3 CARACTERÍSTICAS DOS LODOS GERADOS EM ETAS.....	19
2.3.1 Massa específica.....	20
2.3.2 Processo de desidratação de lodo de ETA.....	20
2.3.3 Granulometria	21
2.3.4 Limite liquidez e plasticidade.....	22
2.3.5 Composição química e mineralógica	23
2.4 ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETA.....	24
2.5 SOLO-CIMENTO.....	27
2.5.1 Tijolo solo-cimento	27
2.5.2 Processo de fabricação do tijolo solo-cimento	29
2.5.3 Fatores que podem interferir na qualidade do tijolo solo-cimento	30
2.5.3.1 Tipo de solo	30
2.5.3.2 Cimento	32
2.5.3.3 Método de Mistura	33
2.5.3.4 Compactação	33
2.5.4 Fatores que podem interferir na qualidade do tijolo de solo-cimento	34
3 METODOLOGIA.....	41
3.1 EDIFICAÇÃO BASE DO ESTUDO.....	41
3.2 TIPOS DE TIJOLOS UTILIZADOS NESSE ESTUDO.....	44
3.2.1 Tijolo Cerâmico	44
3.2.2 Tijolo Solo-Cimento	44
3.2.3 Tijolo Solo-Cimento com adição de lodo de ETA.....	45
4 RESULTADOS	46

4.1	INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA	46
4.2	ANÁLISE DE CUSTOS	47
4.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS NA INCORPORAÇÃO DO LODO NO TIJOLO SOLO-CIMENTO	50
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento da população urbana implica, indiscutivelmente, em aumento da demanda de produtos, bens e serviços. Isto leva à necessidade de expansão industrial e ao consequente incremento na geração de resíduos (Porrás et. al., 2008).

Neste contexto, pode-se observar que o crescimento econômico e populacional está relacionado diretamente com a produção de resíduos. Com isso, a reciclagem desses se tornam cada vez mais um fator importante, principalmente na área da construção civil.

O setor da construção civil é um dos grandes contribuintes para o aumento do consumo de matérias primas naturais. Novas construções para atender o crescimento urbano, reformas, aumento no número de edifícios corporativos, entre outros, ilustram algumas das demandas de matérias para a construção civil.

Assim como a população aumenta, também temos o aumento do consumo dos recursos naturais. A água, que é um deles, está cada vez mais sendo consumida e, conseqüentemente, o seu tratamento vem sendo priorizado e desenvolvido em todos os lugares. As Estações de Tratamento de Água (ETA) para que desenvolvam o seu papel de purificação da água, geram resíduos da sua atividade e um deles é o lodo. Estes por sua vez, atualmente são destinados aos aterros de resíduos sólidos, contudo podem ter outros destinos mais nobres.

No dia a dia, as cidades estão em constante crescimento, tanto populacional como industrial, aumentando, assim, o desenvolvimento da cidade, ocasionando na melhora da estrutura para atender a demanda da população.

Em geral, o volume de lodo gerado em ETAs representa 0,2% a 5,0% do volume tratado de água (ANDREOLI et al., 2001), e a quantidade de lodo originária dos decantadores representa cerca de 60% a 95% da quantidade total de resíduos produzidos na ETA, sendo o restante oriundo do processo de filtração. A limpeza dos filtros consome de 4 a 10% do volume de água tratado por dia (Di BERNARDO et al., 1999)

Uma das principais necessidades da população é a água potável que chega em sua residência. Para isso, a água bruta quem vem do rio, passa por diversos processos e são esses que geram essa porcentagem de resíduos citados. Embora a porcentagem citada anteriormente possa ser pequena, se comparada ao enorme volume de água tratada, ocasiona em um número elevado de resíduos.

Os resíduos gerados nos decantadores são classificados como “resíduos sólidos”, segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), e de acordo com M. I. Aguilar e Water Res (2002), o aumento da quantidade de materiais sólidos provenientes do tratamento das águas fluviais é

devido ao crescimento populacional e os constantes esforços pelo aumento da qualidade de vida dos seus cidadãos.

Os lodos das ETAs podem ser reaproveitados em alguns materiais da construção civil, conforme alguns estudos já realizados. Estudar a viabilidade de incorporação e reaproveitamento deste resíduo em diferentes áreas da construção civil pode resultar na diminuição do consumo de matéria prima natural.

Apesar dos resíduos gerados nas estações de tratamento serem classificados como resíduos sólidos, no Brasil ainda não existe uma regulamentação específica para o tratamento, manejo ou destino desse resíduo, porém ele deve ser tratado e disposto como tal. Além disso, o lançamento de qualquer efluente em corpos receptores deve obedecer aos padrões especificados na Resolução CONAMA no 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes (BRASIL, 2005).

1.1 JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural e essencial para a existência de vida na Terra. Com o crescimento na demanda por água potável, há uma maior necessidade em se tratar a água disponível na natureza.

Segundo dados do IBGE, a população brasileira aumentou de 173.488.346 habitantes no ano de 2000 para 210.147.125 habitantes até o dia 1º de agosto de 2019, tornando o abastecimento público cada vez maior e, em paralelo, gerando maior volume de esgoto. Se não tratados e lançados em locais inapropriados, podem levar a deterioração da qualidade da água bruta. A poluição hídrica é um fator importante a se considerar, pois, além de prejudicar o meio ambiente, gera custos no tratamento da água para consumo humano.

A água não tratada, também chamada de água bruta é aquela que vem de um rio, poço ou barragem. A piora da qualidade das águas brutas tem como consequência o aumento da geração de efluente de produção de água potável, denominado de lodo de estação de tratamento de água. Esse resíduo tem origem, principalmente, nos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros (SOARES et al,2018).

O crescimento populacional também afeta diretamente a necessidade de construções habitacionais, acarretando o maior consumo de matéria prima para a construção civil. Novas técnicas e criações de materiais para a construção civil, buscam menor quantidade de matéria prima não renovável e sim a reutilização.

Se tratando do lodo das estações de tratamento de água, este tipo de resíduo pode ter outros destinos sustentáveis ao invés de ser lançado em locais inadequados. Nesse sentido, os tijolos ecológicos têm sido umas das alternativas para a redução de consumo de matéria prima, utilizando o lodo de ETA, solo e cimento em sua fabricação. Não precisando ser cozidos em fornos, eliminado a emissão de gases de efeito estufa.

Dentro de uma visão sustentável, este estudo visa comparar a viabilidade econômica de tijolos ecológicos tradicionais com tijolos ecológicos com adição de lodo de ETA, utilizando em sua composição solo-cimento, acrescentado de lodo proveniente do processo convencional de tratamento de água na ETA. Este lodo gerado na ETA é proveniente da formação geológica do manancial e de produtos utilizados no processo de tratamento da água para consumo. Desta forma, com o acréscimo de lodo na mistura, poderá gerar uma economia no consumo de solos naturais na fabricação do tijolo e, ainda, é uma alternativa para a utilização do lodo, que usualmente é destinado em sua maioria a aterros sanitários, contribuindo para a redução da vida útil dos mesmos.

A problemática constitui-se, então, na construção da resposta para a seguinte questão: Existe viabilidade econômica na utilização e reaproveitamento de lodo de estação de tratamento de água na mistura com solo e cimento para a fabricação de tijolos? Quais as vantagens sustentáveis e ecológicas proporcionadas?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica de utilização de lodo de ETA em tijolos ecológicos, buscando um uso e disposição final de uma forma sustentável para a grande quantidade de resíduos gerados no tratamento da água.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a viabilidade econômica de utilizar o lodo no processo de produção de tijolos ecológicos;
- b) Verificar as vantagens ecológicas na incorporação do lodo no tijolo de solo cimento;

- c) Elaborar um projeto residencial unifamiliar de baixo padrão para levantamento de custos;
- d) Elaborar um comparativo de custos entre os tipos de tijolos pesquisados, para uma residência unifamiliar projetada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA ABASTECIMENTO PÚBLICO

A água é uma necessidade básica da humanidade. O abastecimento público se destina às necessidades variadas relacionadas à higiene pessoal, doméstica e alimentação, bem como no uso público, na lavagem das ruas, extinção de incêndios, irrigação de jardins públicos, funcionamento de chafarizes e fontes ornamentais, piscinas, etc.

O desenvolvimento urbano acarreta em aumento da demanda de água com qualidade, porém resulta, atualmente, na degradação dos mananciais urbanos por contaminação dos resíduos domésticos e industriais. A contaminação das águas e a sua escassez comprometem a saúde e a qualidade de vida dos seres humanos.

Nesse contexto, o objetivo central de uma ETA é basicamente transformar a água bruta imprópria para o consumo humano em água potável. As estações de tratamento de água são responsáveis pelo tratamento e abastecimento público e precisam atingir padrões de portabilidade estabelecidos na Portaria nº 2.914, de 2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Dessa forma, as ETAs funcionam como indústrias geradoras de água e, como em todos os processos industriais, são gerados resíduos, os quais devem ser tratados e dispostos adequadamente.

2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM ETAS CONVENCIONAIS

O processo de tratamento de água envolve uma sequência de subsistemas que buscam essencialmente a clarificação e desinfecção de água captada em mananciais. As operações envolvidas no processo convencional são: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Estas etapas são essenciais para a remoção de partículas em suspensão ou dispersão coloidal e a desinfecção (Cabral, 2013).

É no processo de coagulação que se inicia a adição de produtos químicos, uma substância conhecida como coagulante. Geralmente, utiliza-se como coagulante o sulfato de alumínio ferroso ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ou o cloreto férrico (FeCl_3), cal e cloro, que inicia a desestabilização das partículas coloidais, formando flocos com tamanho suficiente para sua posterior remoção.

Na floculação, os flocos serão agrupados nos floculadores, os quais mantêm a água em movimento de fraca turbulência. Conforme as impurezas e as outras partículas sólidas em suspensão colidem, elas se aglomeram, aumentando de tamanho e densidade, se adequando para o processo de decantação.

No processo de decantação parte dos flocos são destinados a tanques onde ficam armazenados. Logo após a água decantada com flocos não sedimentados, passa por filtros, onde ocorre a clarificação final.

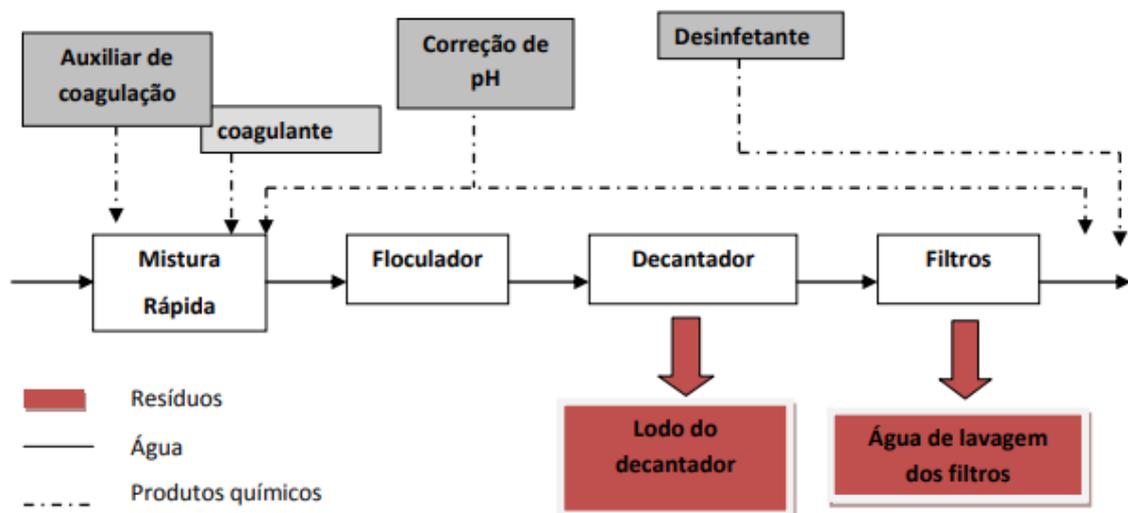
Nos decantadores, os flocos se depositam, formando uma camada de lodo que, manualmente ou através de raspadores, é arrastada para um poço e bombeada para o canal de águas residuais da estação.

A filtração é um processo de separação sólido-líquido que busca retirar os flocos não sedimentados da água, obtendo a clarificação final.

A desinfecção tem como objetivo a destruição de organismos patogênicos e é realizada pela aplicação de cloro ou compostos de cloro. A desinfecção é a única etapa do tratamento de água especificamente destinada ao controle da qualidade bacteriológica.

Na figura 1 é demonstrado o fluxograma das atividades realizadas em uma ETA, demonstra de onde provem os resíduos do tratamento de água.

Figura 1 – Ilustração esquema de tratamento de água convencional



Fonte: adaptado de Cordeiro (2001 apud Cabral, 2013)

Os principais resíduos gerados na ETA são:

- água de lavagem dos filtros;
- lodos dos decantadores;

- rejeito de limpeza dos tanques de produtos químicos.

Estes resíduos geralmente estão sob forma fluida e são lançados normalmente em cursos d'água próximos às ETAs, o que vai de encontro com a legislação vigente, pois pode alterar as características desse corpo receptor.

Os lodos gerados são classificados como resíduos sólidos e, portanto, devem estar em consonância com os preceitos da Lei 12.305/2010, artigo 3º, inciso XVI (BRASIL, 2010), e da série de normas NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) e na Resolução CONAMA nº 357/2005.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS LODOS GERADOS EM ETAS

Direcionando a pesquisa no sentido de se obter informações específicas sobre a composição do lodo da ETA para posterior utilização, descreve-se a seguir as principais características e observações encontradas na literatura.

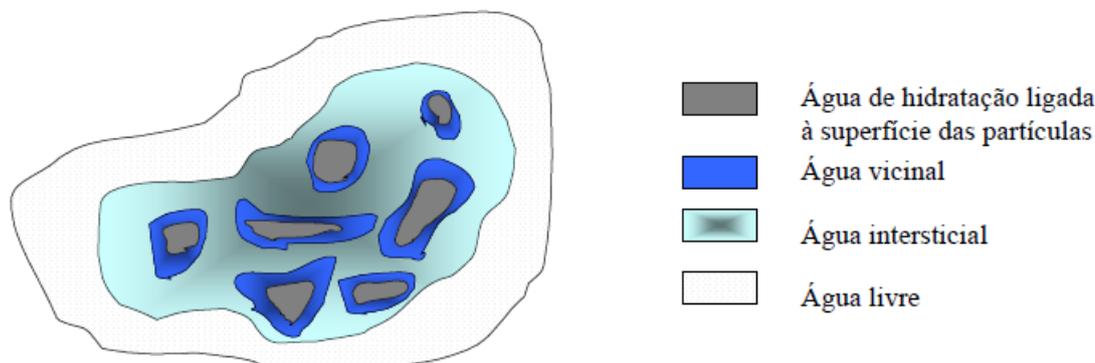
Os lodos gerados nos decantadores das ETAs podem ter suas características bastante variadas dependendo da qualidade física e química da água bruta, bem como dos coagulantes adicionados no processo de tratamento, que são determinantes para o volume de lodo gerado (RICHTER, 2001).

Segundo Barroso (2007), os resíduos são constituídos de fase sólida e fase líquida. Sendo a maior parcela em fase líquida, o que influencia nos sistemas adotados para a desidratação do lodo e redução do seu volume.

Para Smollen e Kafaar (1994 apud BARROSO, 2007), conforme figura 2, diferentes frações de água nos lodos de ETA são definidos em:

- **água livre** – os sólidos podem ser facilmente separados por sedimentação gravitacional simples pois a água não está associada aos sólidos;
- **água capilar ou intersticial** – água intimamente ligada aos flocos, pode ser liberada mediante a aplicação de força mecânica, tais como centrífugas;
- **água de hidratação** – água quimicamente ligada aos sólidos, pode ser liberada por destruição termoquímica das partículas;
- **água vicinal** – associada às partículas sólidas por virtude da estrutura molecular da água, pontes de hidrogênio.

Figura 2 – Diferentes frações de água em lodos de ETAS



Fonte: adaptado de Smollen e Kafaar (1994 apud BARROSO,2007).

A caracterização do lodo permite avaliar possíveis formas de secagem e de utilização dos sólidos resultantes. Segundo Cordeiro (2001), devem ser analisados parâmetros tais como:

- tamanho e distribuição das partículas;
- limite de plasticidade e limite de liquidez;
- resistência específica e compressibilidade.

Para Barroso (2007) e Cordeiro (2001), outro fator que deve ser avaliado, são características da composição química dos resíduos, pois são encontrados diversos sais, plâncton, microrganismos e metais, entre outras substâncias orgânicas e inorgânicas. Sendo assim, é essencial a avaliação dos possíveis impactos ambientais para a disposição final dos resíduos de ETA.

2.3.1 Massa específica

Para Cabral (2013), a massa específica varia de acordo com o conteúdo de sólidos no lodo, ou seja, com seu estágio de desidratação desde 1002 Kg.m^{-3} , para lodos com teor de sólidos de 1%, até 1.236 Kg.m^{-3} , após desidratação e com teor de sólidos de 30%.

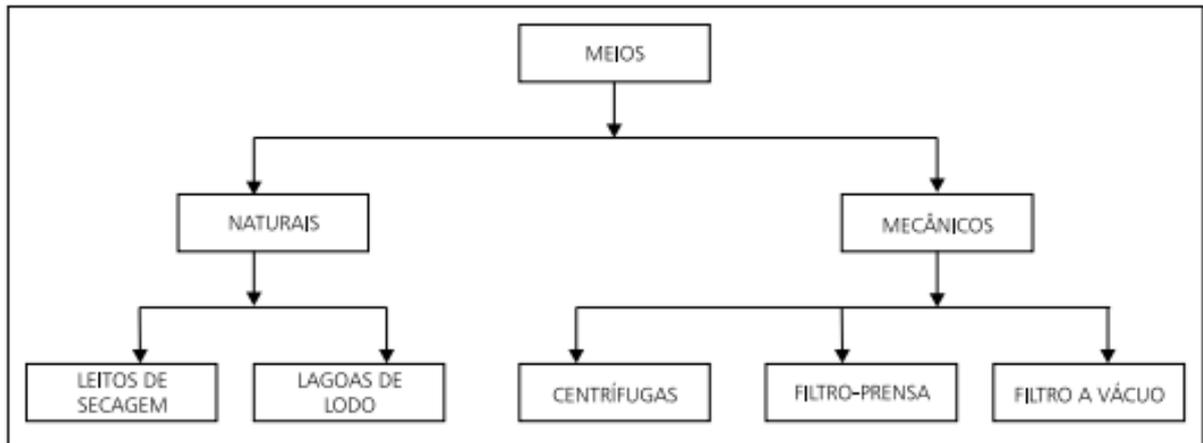
2.3.2 Processo de desidratação de lodo de ETA

A secagem do lodo pode ser realizada de forma não mecanizada ou mecanizada. As não mecanizadas podem ser citadas as lagoas de lodo ou os leitos de secagem. Os leitos de secagem são construções de alvenaria, dotadas de camada suporte, meio filtrante ou drenante (ANDREOLI et al., 2001) e faz uso das condições ambientais (temperatura do ar, vento,

umidade relativa do ar, etc.). Já os mecanizados são as centrifugas, os filtros- prensa e o filtro a vácuo.

O fluxograma demonstrado na figura 3 representa os sistemas de desidratação para redução do volume dos lodos de ETA, apresentado por Cordeiro (1999).

Figura 3 – Fluxograma demonstrativo dos processos de secagem



Fonte: Cordeiro (1999)

A água do lodo deve ser removida de forma rápida para que o tempo de operação seja mínimo, podendo ser reutilizada no processo ou dispostas sem causar grandes prejuízos (CABRAL, 2013).

2.3.3 Granulometria

A análise granulométrica deve ser realizada de acordo com os métodos proposto na NBR7181 (ABNT,1984). Sendo eles por peneiramento (no caso de material granular como areia e pedregulho) e por sedimentação (no caso de material argiloso).

Cabral (2013), demonstra na tabela 1 os resultados obtidos por diferentes autores em ensaios granulométricos em diferentes ETAS.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica de lodo de ETA obtidos de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984).

Referência	Pedregulho	Areia			Silte	Argila
		Fina	Média	Grossa		
Margem <i>et al.</i> (2007) ⁽¹⁾	0%	13%	4%	3%	50%	30%
Santos <i>et al.</i> (2000)	0%	21%	58%	0%	15%	6%
Sartori e Nunes (2000) ⁽²⁾	0%	4%	4%	0%	58%	38%
Oliveira <i>et al.</i> (2004) ⁽²⁾	0%		14%		41%	45%
Dias <i>et al.</i> (2004) ⁽²⁾	0%	8-18%	24-43%	0%	4-19%	34-49%
Porras <i>et al.</i> (2008) ⁽²⁾	0%	5-22%	12-21%	2-60%	15-66%	0-10%
Andrade (2005) (2005) ⁽²⁾	0%	21%	2%	11%	34%	32%
Tartari (2008) ⁽²⁾	0%		73%		22%	5%

(1) Classificação USCS ou Unificada; (2) classificação ABNT (NBR 6502).

Fonte: Cabral (2013)

Analisando as distribuições granulométricas apresentadas na Tabela 1, nota-se a composição predominantemente fina (frações de silte e argila) e a variabilidade entre as composições.

2.3.4 Limite liquidez e plasticidade

O limite de liquidez (LL) de um solo é o teor de umidade que separa o estado de consistência líquido do plástico, para o qual o solo apresenta pequena resistência ao cisalhamento.

O limite de plasticidade (LP) é o teor de umidade mínimo, no qual a coesão é pequena para permitir deformação, porém, suficientemente alta para garantir a manutenção da forma adquirida.

O índice de plasticidade (IP) representa a quantidade de água que seria necessário acrescentar a um solo para que este passasse do estado plástico ao líquido.

Na tabela 2, Cabral (2013), demonstra os resultados de LL, LP e IP obtidos por diferentes autores.

Tabela 2 – Limites de Liquidez (LL), Limites de Plasticidade (LP) e Índices de Plasticidade (IP) de lodos de ETA, determinados com base nas normas NBR 6459 e NBR 7180

Referência	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Santos et al. (2000)	44	28	16
Sartori e Nunes (2000)	60	44	16
Fadanelli e wiechetec (2010)	75	71	5
Wolff <i>et al.</i> (2005)	79	57	22
Oliveira <i>et al</i> (2004)	73	53	20
Dias <i>et al.</i> (2004)	55-59	40-51	-
Souza (2010)	66	48	18
Tartari (2005)	63	55	7

Fonte: adaptado de Cabral (2013)

Para Oliveira et al. (2004), o lodo de ETA pode pertencer ao grupo de siltes inorgânicos de alta compressibilidade. Tartari (2008), indica que a presença de quartzo no lodo influenciou na diminuição da plasticidade, devido o comportamento do mineral que interfere na orientação dos argilominerais, o que o torna matéria-prima arenosa e siltosa, não plástica ou desplastificante.

2.3.5 Composição química e mineralógica

A determinação da composição química de lodos de ETA importa, para efeito de comparação, com materiais afins tradicionalmente utilizados em aplicações, tais como argamassa, cimento e cerâmica. Também deve ser levado em consideração os impactos ambientais e risco à saúde humana, nesse caso, em relação à presença de elementos tóxicos.

De acordo com Barroso e Cordeiro (2001), alguns metais como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo, magnésio e, em especial, o alumínio presente no lodo de ETA, possuem ações tóxicas, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização destes resíduos.

Outro estudo realizado por Portella et al. (2003), indica que os principais elementos detectados em lodos de ETA são os óxidos de alumínio (Al_2O_3), silício (SiO_2), ferro (Fe_2O_3), titânio (TiO_2), magnésio (MgO), cálcio (CaO), sódio (Na_2O), potássio (K_2O) e pentóxido de difósforo (P_2O_5). Andrade (2005), constatou a presença de quartzo, goethita, hematita, caulinita, muscovita, ilita e calcita.

Para composição mineralógica, Tartari (2008), identificou como principais componentes do lodo o quartzo, a caulinita e a hematita. Paixão et al. (2008), identificaram a presença de gipsita, goetita, hematita e sulfato de alumínio hidratado. Vitorino et al. (2009), verificaram a presença de quartzo, mica e caulinita. Hoppen et al. (2005a), identificaram mulita, sillimanita, sílica, caulinita, magnetita, silicatos de Al e Fe, e hematita

De acordo com os estudos citados acima, a composição químico-mineralógica é, de certa forma, semelhante entre as diversas amostras de lodo analisadas. Para OLIVEIRA et al (2004), pode ser considerada similar à de argilas utilizadas no setor industrial de cerâmica vermelha.

2.4 ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETA

Há várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso.

No quadro 1, Ramirez (2015), apresenta alguns estudos realizados com emprego de lodo de ETA, teores utilizados e as principais conclusões obtidas pelos pesquisadores.

Quadro 1 - Estudos realizados com emprego de lodo de ETA

(continua)

Autor/local	Emprego do lodo	Teores utilizados	Principais conclusões
Teixeira et al.,2006 (Presidente Prudente, SP)	Cerâmica	0; 10; 20 e 30%	A incorporação do lodo, em geral, piora as propriedades físicas e tecnológicas do material cerâmico e os resultados obtidos para o lodo com Al foram sempre piores que os com Fe.
Pozzobon et al., 2010 (Foz do Iguaçu, PR)	Cerâmica	6; 8; 10; 12 e 15%	O lodo deve ser submetido a tratamento prévio, uma vez que <i>in natura</i> favorece a ocorrência de defeitos nas peças sinterizadas. A incorporação de lodo à massa cerâmica altera sua coloração, o que pode ser explorado no uso artesanal.

Quadro 1 – Estudos realizados com emprego de lodo de ETA

(continuação)

Autor/local	Emprego do lodo	Teores utilizados	Principais conclusões
Paixão et al., 2008 (Brumadinho, MG)	Cerâmica	2; 5 e 10%	A adição do lodo à massa de cerâmica vermelha em frações de 2 a 10%, em peso, causou diminuição da resistência à flexão do corpo seco a 110 °C. Já a calcinação e a cominação do lodo possibilitaram aumentar a resistência à flexão em relação à incorporação do lodo bruto, diminuindo a severidade das micro trincas.
Oliveira e Holanda, 2008 (Campo dos Goytacazes, RJ)	Cerâmica	0; 5; 10 e 15%	Lodo adicionado em até 15%, em peso, à massa argilosa para fabricação de cerâmica vermelha não apresentou efeitos significativos sobre a microestrutura e as propriedades físico-mecânicas avaliadas (retração linear, absorção de água, massa específica aparente e tensão de ruptura à flexão).
Tartari et al., 2011 (Foz do Iguaçu, PR)	Cerâmica	4; 8; 12 e 16%	O lodo não pode ser usado como componente majoritário em massas cerâmicas. No entanto, pode ser usado em pequenas quantidades em massas argilosas (até o limite de 8%), nas condições de umidade reais de saída da centrífuga.
Monteiro et al., 2008 (Campos de Goytacazes, RJ)	Cerâmica	0; 3; 5 e 10%	A incorporação de até 10%, em peso, de lodo à argila aumenta ligeiramente a absorção de água e diminui a resistência mecânica da cerâmica após a cozedura.
Hoppen et al., 2005 (Curitiba, PR)	Concreto	3; 5; 7 e 10%	Nas condições e parâmetros adotados, os traços de concreto contendo até 5% de lodo podem ser aplicados em situações que vão desde a fabricação de artefatos, blocos e peças de concreto até a construção de pavimentos em concreto de cimento Portland (pavimento rígido).

Quadro 1 – Estudos realizados com emprego de lodo de ETA

(conclusão)

Autor/local	Emprego do lodo	Teores utilizados	Principais conclusões
Sales et al., 2011 (São Carlos, SP)	Concreto leve	1:6:4,5 (serragem, lodo e água)	A incorporação de lodo permitiu produzir um concreto não estrutural leve com massa específica aparente de 1847 kg/m ³ e resistência à compressão de 11,1 MPa.
Sales e Souza, 2009 (São Carlos, SP)	Concretos e Argamassas	1 a 5%	A produção de concretos e argamassas com a adição conjuntos de lodos ETA e agregados reciclados pode oferecer uma alternativa de reciclagem que é viável do ponto de vista da resistência à compressão axial e absorção de água.
Fadanelli et al., 2010 (Ponta Grossa, PR)	Solo cimento	3; 5; e 7%	Percebe-se que quando se adiciona lodo à mistura solo-cimento, há uma diminuição da qualidade do conjunto, aumentando o índice de retração volumétrica, afetando sua durabilidade.
Fontanive et al., 2008 (Espírito Santo)	Tijolo Solo Cimento		A produção de tijolos em solo-cimento com lodo de ETA foi insatisfatória, devido à alta taxa de silte do lodo, o que o torna pouco permeável. O tijolo “desidratado” acaba-se apresenta-se facilmente quebradiço e fragmentado
Teixeira et al., 2011 (Presidente Prudente, SP)	Tijolos Cerâmicos	0; 10; 15 e 20%	Para temperatura de queima inferior a 1000°C é possível produzir tijolos cerâmicos com adição de 10% de lodo. Para temperaturas superiores, pode ser adicionado até 20%.
Porras et al., 2008 (Campinas, SP)	Tijolos estabilizados com cimento	10; 15; 20 e 25%	Nenhum tijolo produzido com a mistura de lodo atendeu às normas brasileiras de qualidade estrutural - dimensões, absorção de água e resistência à compressão.

Fonte: Ramirez 2015

Outro estudo mais recente foi realizado por Cabral (2013), que avalia a incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento e concluiu que a incorporação de lodo piorou a resistência mecânica dos tijolos de solo-cimento. Considerou-se que oito das treze misturas avaliadas atenderam ao limite inferior de especificação da norma

NBR 8491, que exige resistência mínima individual de 1,7 MPa para os tijolos ensaiados. Porém, cinco misturas que não se adequaram, apresentaram valor extremamente baixo de resistência mecânica, sendo salvo uma exceção, misturas com incorporação de 10% de lodo. Há, portanto, indícios que este valor de incorporação de lodo já compromete a resistência mecânica dos tijolos, misturas com 10% de lodo e até 12,5% de cimento.

2.5 SOLO-CIMENTO

2.5.1 Tijolo solo-cimento

O tijolo ecológico ou de solo-cimento, é definido, segundo Sala (2006), como uma mistura de solo e cimento, que são prensados e seu processo de fabricação não exige queima em forno, o que evita desmatamento e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente.

Para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1986), o solo-cimento é o produto resultante da mistura de solo, cimento Portland e água, que compactados na umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente definidas, adquire resistência e durabilidade através das reações de hidratação do cimento. A qualidade da mistura depende da massa específica que deseja ser alcançada no processo de compactação, porcentagem de cimento a ser adicionada e da quantidade de água.

Ainda segundo a ABCP (1986), os principais fatores que afetam as propriedades do solo-cimento são: tipo de solo, teor de umidade, teor de cimento, homogeneidade da mistura, compactação, idade e processo de cura.

Segundo Ferraz (2000), uma das alternativas para construção de alvenaria em habitações e demais edificações é o tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico. As vantagens para a utilização desse tipo de tijolo vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras. O tijolo possui alta resistência à compressão e umidade, possui grande conforto acústico e é impermeável, os equipamentos são simples e de baixo custo e sua resistência à compressão é semelhante à do tijolo convencional, mas a qualidade final é superior, possuindo dimensões regulares e faces planas.

Estudos feitos, comprovam que, além do bom desempenho termo acústico, o solo-cimento aplicado em construções leva a redução de custos de 20% a 40% em relação à alvenaria tradicional de tijolos de barro ou cerâmico (FIQUEROLA, 2004).

De acordo com Grande (2003), a fabricação de componentes de alvenaria de solo estabilizado, teve sua evolução a partir da criação da prensa manual *CinvaRam* pelo *Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento – Cinva*, em 1961. Desde então, vários fabricantes desenvolveram prensas manuais (figura 4) e hidráulicas para a fabricação de diversos tipos de tijolos e blocos de solo cimento compactados.

Figura 4 – Prensa manual comercializada nos dias atuais.



Fonte: Verde equipamentos (2019).

A partir de uma prensa manual, pode-se produzir diversos modelos de tijolos ecológicos (figura 5), como também pisos, pastilhas e tijolos maciços, além de poder regular a espessura que se deseja em cada peça.

Figura 5 – Tipos de tijolos fabricados a partir de uma prensa manual.



Fonte: Verde equipamentos (2019).

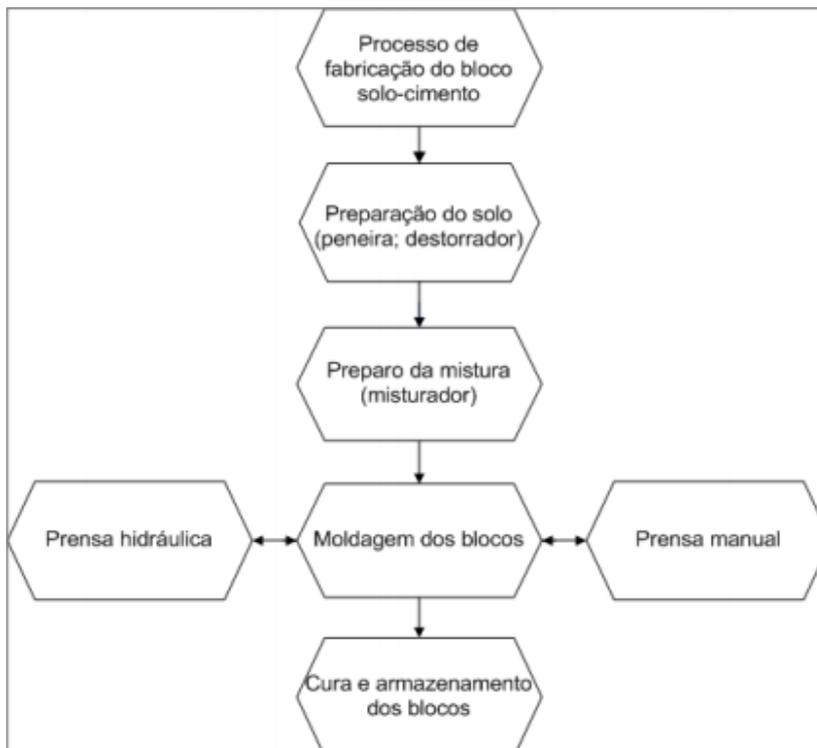
O tijolo ecológico visa uma maior preocupação com o meio ambiente, isso faz dele um grande atrativo para um mundo mais sustentável, devido ele apresentar um baixo índice de poluição.

2.5.2 Processo de fabricação do tijolo solo-cimento

O processo de fabricação dos tijolos solo-cimento pode ser dividido em diversas etapas, porém com base no procedimento descrito pela ABCP (1988), essa fabricação envolve as seguintes etapas (figura 6):

- preparação do solo: destorroamento (quebra de torrões) e peneiramento;
- preparação (ou homogeneização) da mistura, manual ou mecanizada (com misturador): espalha-se o cimento no solo preparado, misturando bem até obter coloração uniforme da massa (homogeneização seca), posteriormente e aos poucos, adiciona-se água, misturando novamente até alcançar o teor de umidade desejado (homogeneização úmida);
- moldagem dos tijolos, em prensa manual ou hidráulica;
- cura e armazenamento.

Figura 6- Processo de fabricação de tijolos de solo-cimento.



Fonte: Penteado e Marinho (2011).

A ABCP (1988), recomenda, ainda, que a quantidade da mistura deve ser dimensionada para produção de tijolos durante uma hora de funcionamento da prensa.

Em termos de dosagem, a ABCP (1988), recomenda moldar blocos com proporções, em volume de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14. A escolha do traço adequado

deve ser a que apresentar menor consumo de cimento e atender aos critérios de resistência à compressão e absorção de água estabelecidos na NBR 8491 de 2012.

Pisani (2005), cita algumas recomendações em relação à cura e à estocagem dos tijolos, para que os mesmos possam obter uma boa qualidade. Entre elas, podemos destacar as seguintes recomendações:

- após serem retirados da prensa ou forma, os tijolos devem ser colocados em pilhas, evitando danos provenientes da movimentação dos tijolos ainda úmidos;
- o local de armazenamento deve estar em nível para que os elementos não se deformem;
- empilhamento dos tijolos devem ser realizados de acordo com as orientações dos fabricantes, que normalmente indicam 1,0 metro de altura máxima das pilhas. Porém, isso pode variar de acordo com o formato e o peso do tijolo, pois deve haver um cuidado específico para que não haja excesso de peso, ocasionando uma deformação nos tijolos das primeiras camadas;
- outra recomendação importante é referente ao local de armazenamento dos tijolos, não é indicado armazenar em locais com ventos ou que haja contato diretamente com o sol, as pilhas também podem ser cobertas com lonas plásticas, principalmente nos três primeiros dias para que não haja perda de água;
- a cura completa do tijolo se dá com 28 dias, quando o tijolo apresenta aproximadamente 95 % da resistência total de cálculo, este é o prazo ideal para o transporte e utilização do tijolo.

Porém, segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012), os tijolos ou blocos já podem ser utilizados na construção civil, a partir dos 14 dias após a sua fabricação.

2.5.3 Fatores que podem interferir na qualidade do tijolo solo-cimento

De acordo com Blücher (1951, apud GRANDE, 2003), alguns fatores interferem na qualidade dos tijolos de solo-cimento, os principais que afetam a qualidade do tijolo são: o tipo de solo, o teor de cimento, o método de mistura e a compactação.

2.5.3.1 Tipo de solo

O tipo de solo mais recomendado para o uso em tijolo solo-cimento, segundo a ABCP (1985), são os solos mais arenosos, pois estes se estabilizam como menores quantidades

de cimento. Porém, é necessário que o mesmo apresente argila em sua composição, dando à mistura uma coesão suficiente para uma retirada imediata das fôrmas.

De acordo com Segantini e Alcântara (2007), a presença de grão de areia grossa e de pedregulhos pode ser benéfica, devido a esses materiais serem inertes, ou seja, com função apenas de enchimento, o que favorece a disponibilidade de maiores quantidades de cimento para aglomerar os grãos menores. Eles ainda citam que a fração fina do solo é responsável pela resistência inicial do solo-cimento compactado, devido à coesão das partículas da fração fina compactada.

A experiência tem demonstrado que solos com teores de silte mais argila inferiores a 20%, não propiciam compactação adequada, sobretudo na confecção de tijolos prensados, dificultando o processo de moldagem (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007).

Os solos argilosos, por outro lado, necessitam de uma maior quantidade de cimento para a sua estabilização. Com isso, alguns autores relatam degradação dos materiais argilosos estabilizados com cimento Portland, sendo indicado o uso da cal na estabilização destes solos (BELL, 1996).

De modo geral, é muito importante conhecer a granulometria e a plasticidade do solo para o uso em solo-cimento, ou seja, é necessário saber as principais informações a respeito do solo, como a capacidade de absorção de água e retração da massa durante a secagem. Isso porque, os solos mais plásticos consomem mais água para a compactação adequada, resultando em elevada porosidade e absorção de água do tijolo, além de apresentarem retração elevada, com formação de trincas nos tijolos. (CABRAL, 2013)

Para a escolha do solo para uso na fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, a norma NBR 10833 (ABNT, 2012) apresenta alguns requisitos a serem atendidos (Tabela 3).

Tabela 3 – Critérios para a seleção de solos para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, segundo a NBR 10833 (ABNT, 2012)

Características	Requisitos (%)
% que passa na peneira 4 (4,8 mm)	100
% que passa na peneira 200 (0,075mm)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18
Retração no ensaio da caixa*	< 2,0 cm

*Recomendação prática (CEPED, 1984): limita a retração e garante a ausência de trincas nos tijolos.

Fonte: Adaptado Cabral (2013, apud ABNT 2012).

Quando não atendem aos requerimentos de composição granulométrica e limites de consistência, os solos devem ser corrigidos, adicionando-se, por exemplo, areia (DALLACORT et al., 2002; CABALA, 2007; FERREIRA et al., 2008).

2.5.3.2 Cimento

O cimento Portland pode ser definido como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, composto basicamente de silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio que misturados à água se hidratam e após seu endurecimento, mesmo que seja novamente submetido ao contato com água, o cimento não se decompõe mais (ABCP, 2002).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o cimento é tecnicamente definido como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo inicial de pega) e de outras substâncias, que determinam o tipo de cimento. O clínquer (matéria-prima do cimento), quando reduzido a pó, apresenta composição química e propriedades específicas, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporção dos principais componentes do cimento e suas propriedades

Componente	Nomenclatura	Proporção (%)	Propriedades
C ₃ A	Aluminato tri cálcico	0 – 15	Reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação; propicia pouca resistência e forte retração.
C ₃ S	Silicato tri cálcico (alita)	35 – 65	Responsável pelo desenvolvimento de resistência nas idades iniciais, com alto desprendimento de calor; libera cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio.
C ₂ S	Silicato dicálcico (belita)	10 - 40	Proporciona o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor; produz cerca de 18% em massa de hidróxido de cálcio.
C ₄ AF	ferroaluminato tetracálcico (ferrita)	5 - 15	Desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica; boa resistência ao ataque de sulfatos.

Fonte: Mehta e Monteiro (1994)

De acordo com Ingles e Metcalf (1972), as propriedades do solo mudam com o aumento da quantidade de cimento, incrementando a capacidade de carga e a durabilidade a ciclos de molhagem e secagem. Em solos argilosos, a permeabilidade aumenta, ocorrendo uma

tendência para expansão. Já em solos granulares, a permeabilidade diminui e a tendência para a retração aumenta.

Segundo Rocha (1996), independentemente do solo que é utilizado, o aumento de cimento promove aumento da resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento. Porém, se aumentar o teor de cimento de uma forma muito elevada e as condições de cura não forem adequadas, é bem provável que ocorram fissuras no processo de secagem decorrentes da retração do material.

Não existem restrições quanto ao tipo de cimento a ser utilizado em solo-cimento, no entanto, este deve atender à norma técnica específica para o seu enquadramento na categoria de cimento Portland simples, composto ou com aditivos. (CABRAL, 2013).

2.5.3.3 Método de Mistura

Os métodos de mistura podem influenciar bastante na qualidade dos tijolos. De acordo com Cabral (2013, apud FELT 1955), a resistência à compressão pode diminuir em até 50% em função da eficiência dos equipamentos utilizados e das condições ambientais do local. Desta forma, a homogeneização adequada da massa de solo-cimento é de fundamental importância para que todo o cimento possa entrar em contato com a água de hidratação.

Ao adicionar a água na mistura de solo-cimento, acontece a formação de grumos pela grande concentração da umidade em um mesmo ponto. Esses grumos devem ser desfeitos para se obter uma melhor distribuição da água na massa. Destefani (2009), sugere o uso de borrifador para a aplicação da água na massa, para que se possa evitar a formação desses grumos.

2.5.3.4 Compactação

Segundo Souza (2008), os ensaios de compactação de solos desenvolvidos em laboratório, visam à obtenção dos valores de massa específica aparente seca máxima e a chamada umidade ótima, que permite, com a energia de compactação aplicada, o preenchimento de todos os vazios possíveis.

Ainda segundo o autor, a umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade e resistência, diminui

a porosidade e, conseqüentemente, a permeabilidade do material, além de aumentar sua durabilidade.

2.5.4 Fatores que podem interferir na qualidade do tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento, ou tijolo ecológico como também é chamado, é um material, como seu nome já diz, com apelo ambiental. Desta forma, a sua principal matéria-prima utilizada, o solo, é um material em abundância e que após o seu uso pode retornar ao meio ambiente sem causar nenhum tipo de poluição. Outro ponto positivo deste tipo de tijolo, é que ele não precisa ser queimado, ou seja, evita o lançamento de gases poluentes na atmosfera.

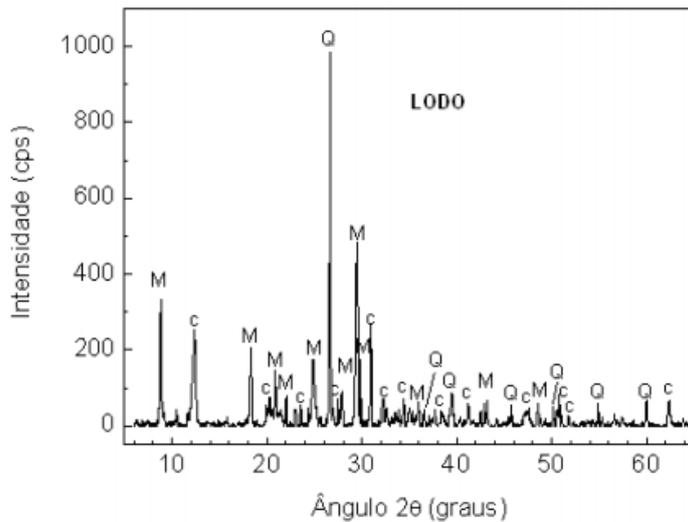
De acordo com Chies et. Al., (2000), existem inúmeras vantagens para a reciclagem de resíduos gerados nas ETA's. Visando a área da construção civil com ênfase em tijolos solo-cimento, podemos destacar:

- beneficia a concessionária de serviços de saneamento, por esta ser uma solução definitiva na destinação de resíduo de ETA;
- redução do volume de extração de matérias-primas;
- conservação de matérias-primas não renováveis;
- beneficia o meio ambiente pela redução da supressão da vegetação devido à atividade extrativa;
- menores emissões de poluentes;
- melhoria da saúde, segurança da população e redução da poluição aquática causada pelo lançamento de lodo de ETA nos corpos de água.

A incorporação de resíduos em materiais de construção civil, torna-se cada vez mais importante, uma vez que esses resíduos, mesmo sendo depositados em aterros sanitários, eles ainda estão sujeitos a acidentes de grandes conseqüências. Desta forma, fica caracterizada a importância ecológica e socioeconômica da reciclagem do resíduo de ETA na fabricação de tijolos solo-cimento (RODRIGUES, 2012).

Um estudo, feito por Silva (2009), avaliou a viabilidade de incorporação de resíduo da Estação de Tratamento de Água de Carapina (ES) em tijolos de solo-cimento, visando diminuir os impactos ambientais. Para este estudo, foram feitas as caracterizações físicas, químicas e mineralógicas das matérias-primas: lodo e solo. Na figura 7, observa-se a análise química de difração de raios X do lodo, nela podemos destacar a predominância de Quartzo (SiO_2) e do argilomineral do grupo da montmorilonita $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}\text{nH}_2\text{O}]$.

Figura 7 – Difração de raios X do lodo.



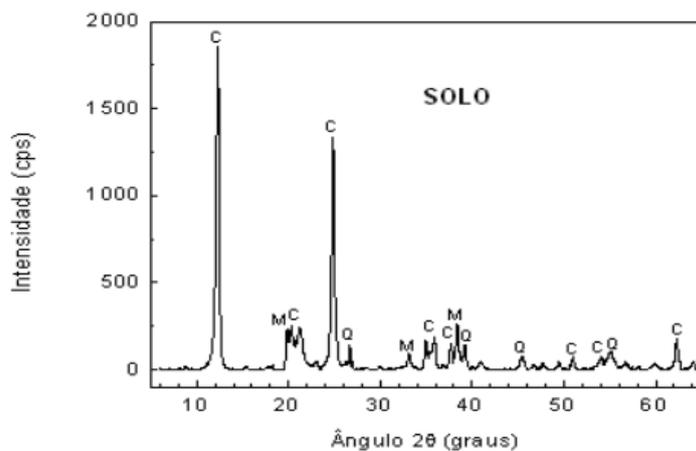
Legenda: M – Montmorilonita, C – Caulinita, Q - Quartzo.

Fonte: Silva (2009).

De acordo com Silva (2009), a predominância da argila montmorilonita indica que o lodo tem granulometria muito fina, que o inviabiliza como material de incorporação em tijolos de solo-cimento sem a devida correção da porosidade.

Na figura 8, observa-se a análise química de difração de raio-x da amostra do solo na pesquisa de Silva (2009). Nela podemos destacar a predominância do argilomineral do grupo da caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Figura 8 – Difração de raios-X do solo.



Legenda: M – Montmorilonita, C – Caulinita, Q - Quartzo.

Fonte: Silva (2009).

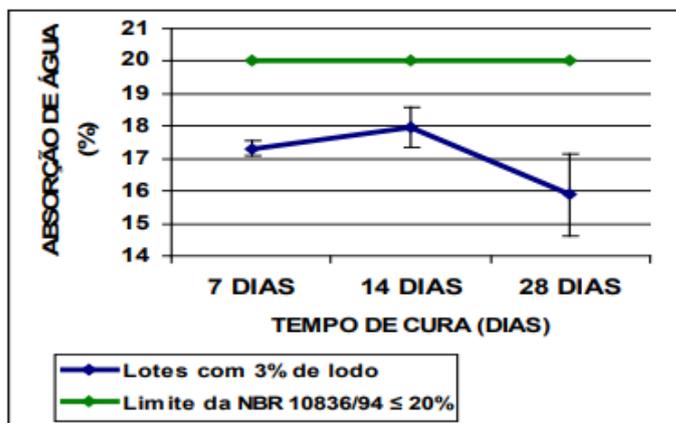
Segundo Silva (2009), a predominância da argila caulinita indica que o solo tem granulometria fina que, assim como o lodo, o inviabiliza como material de incorporação em tijolos de solo-cimento sem a devida correção da porosidade.

A partir das análises químicas de difração de raios X de solo e lodo, Silva (2009) confeccionou os tijolos com percentuais de 3, 5, 8 e 10% de lodo incorporado na massa de solo-cimento e com 10% de cimento em todos os traços.

Desta forma, o resíduo apresentou em sua granulometria 93,64% de fração de areia, 4,25% de fração de silte, e 2,14% de fração de argila, enquanto a análise granulométrica do solo apresentou 95,18% de fração de areia, 3,25% de fração de silte, e 1,57% de fração de argila.

Ainda segundo a mesma pesquisa, a figura 9 destaca a evolução da absorção de água com a incorporação de 3 % de lodo na mistura. A partir desses dados, observa-se, também, que houve um aumento da absorção de água dos sete para os 14 dias de cura. Porém, dos 14 para os 28 dias de cura, ocorreu diminuição da absorção de água. Entretanto, os valores de absorção não ultrapassaram o valor limite determinado pela NBR 10836/94.

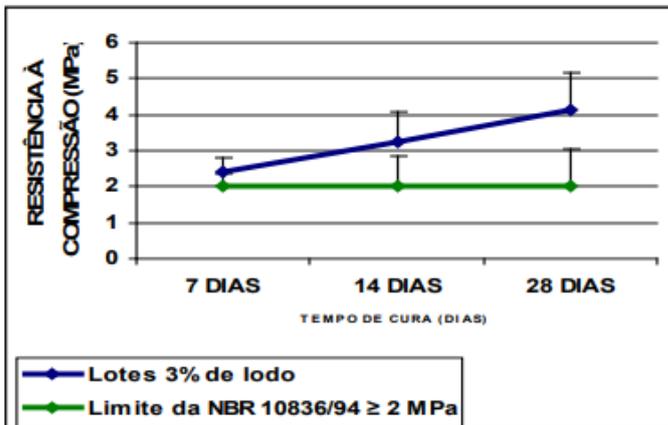
Figura 9 – Evolução da absorção de água dos tijolos com 3% de lodo



Fonte: Silva (2009).

Na figura 10, observa-se a evolução da resistência à compressão dos tijolos com a incorporação de 3% de lodo na mistura. A partir desses dados, é possível observar que quanto maior o tempo de cura, maior a resistência do tijolo. Aos 7 dias de cura, o tijolo apresentou valor de resistência próximo ao limite crítico da NBR 10836/94. Dessa forma, recomenda-se que a utilização desse tipo de tijolo seja feita após os 14 dias de cura.

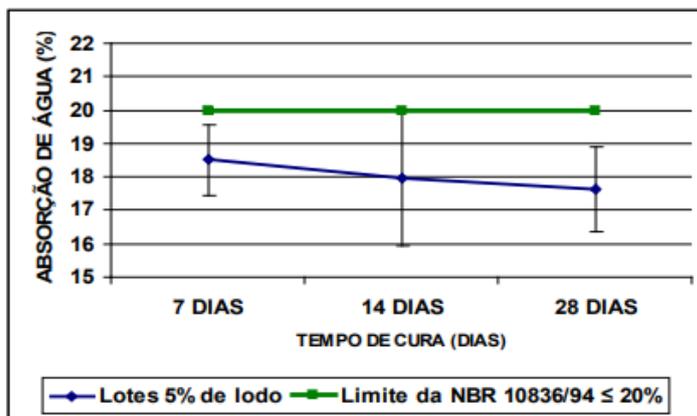
Figura 10 – Evolução da resistência à compressão dos tijolos com 3% de lodo



Fonte: Silva (2009).

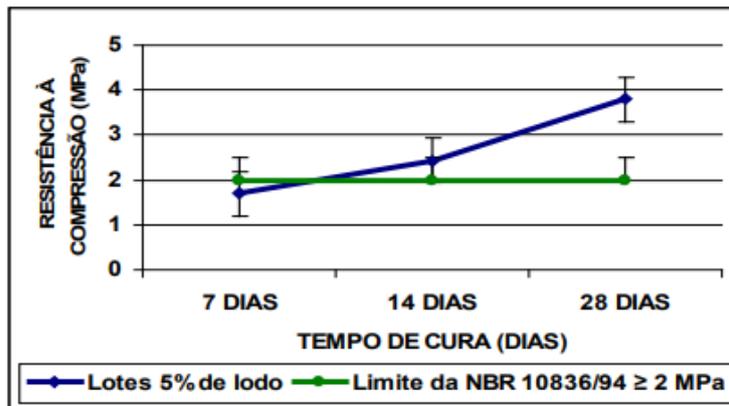
Segundo Silva (2009), observa-se que com a incorporação de 5% de lodo na mistura ocorreu uma diminuição da absorção de água (figura 12) e um aumento na resistência à compressão (figura 11), porém, os valores de absorção não ultrapassam o valor limite determinado pela NBR 10836/94. Silva (2009) ainda destaca que, para essa composição de lodo, só é possível utilizar os tijolos após os 28 dias de cura, pois a resistência dos tijolos até os 14 dias não atingiu o valor recomendado pela NBR 10836/94.

Figura 11 – Variação da absorção de água dos tijolos com 5% de lodo.



Fonte: Silva (2009).

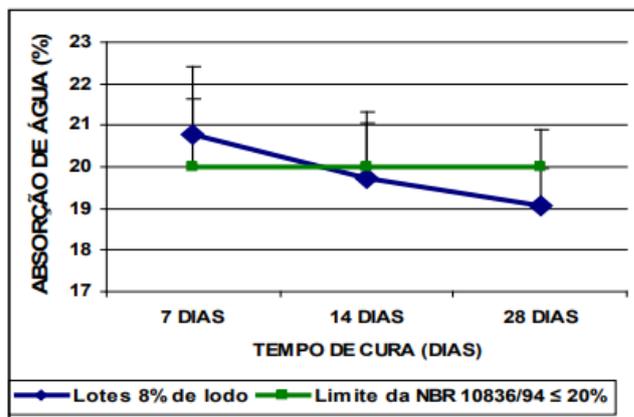
Figura 12 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 5% de lodo.



Fonte: Silva (2009).

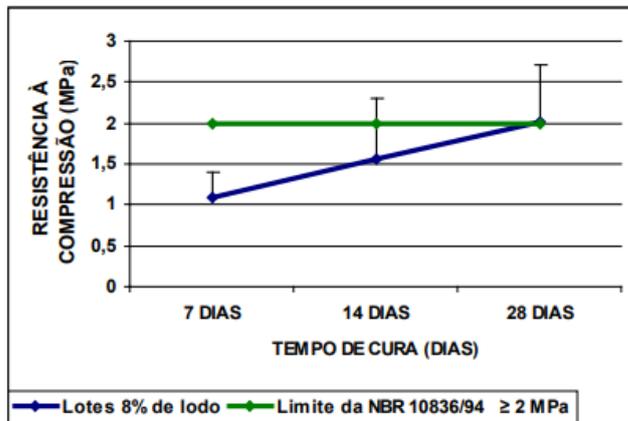
A figura 13 mostra que nas amostras de tijolos com a incorporação de 8% de lodo na mistura, ocorreu diminuição discreta na absorção de água. Já na figura 14, observa-se um aumento, também discreto, na resistência à compressão, porém, todos esses valores são inferiores ao limite máximo recomendado pela NBR 10836/94. Desta forma, com a incorporação de 8% de lodo, ainda não é possível a sua utilização como material construtivo.

Figura 13 – Variação da absorção de água dos tijolos com 8% de lodo



Fonte: Silva (2009).

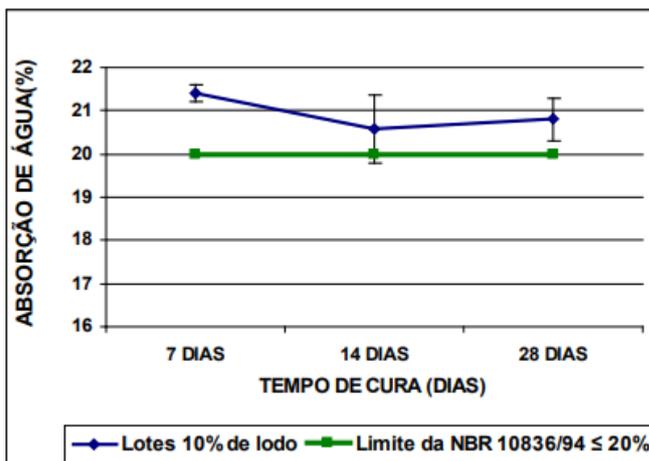
Figura 14 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 8% de lodo.



Fonte: Silva (2009).

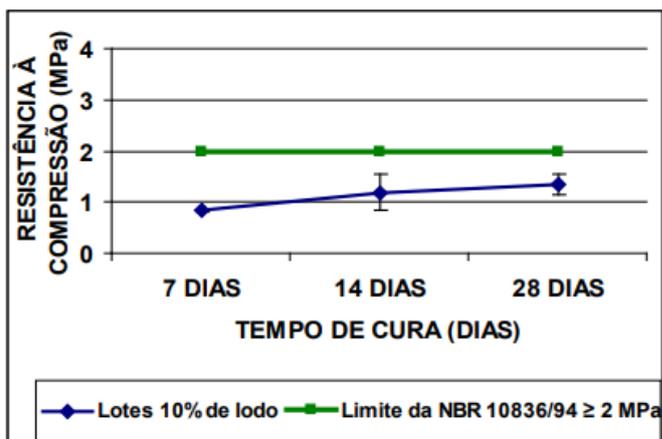
Na figura 15, com a incorporação de 10% de lodo na mistura, observa-se que não houve nenhuma variação na absorção de água, assim como também não houve na resistência à compressão (figura 16). Deste modo, todos os valores de absorção de água acabaram ficando acima do limite determinado pela NBR 10836/94 e todos os valores de resistência acabaram ficando abaixo do limite estabelecido pela mesma norma. Sendo assim, Silva (2009) afirma que não é possível, nas condições de campo, recomendar a utilização de tijolos com esta composição de lodo em nenhum período de cura.

Figura 15 – Variação da absorção de água dos tijolos com 10% de lodo



Fonte: Silva (2009).

Figura 16 – Variação da resistência à compressão dos tijolos com 10% de lodo.



Fonte: Silva (2009).

Sendo assim, Silva (2009) concluiu em seus estudos que, para as condições normais de campo, é possível a incorporação de até 5% de lodo na mistura do tijolo de solo-cimento sem que o mesmo comprometa as suas características construtivas. Em relação à uma incorporação maior que a de 5%, não é recomendada com a constituição granulométrica do solo e do lodo utilizados.

3 METODOLOGIA

Há poucos estudos realizados quanto a viabilidade econômica de incorporação de lodo de ETA na produção de tijolos solo-cimento. Portanto, são poucas as informações consolidadas quantos aos benefícios e ao volume de material que pode ser reutilizado no processo de fabricação.

A metodologia de trabalho consiste na elaboração de um projeto residencial, que se enquadre no padrão Minha Casa minha Vida, a elaboração de orçamento de comparativo de custos e tempo de execução e a verificação das vantagens e desvantagens deste processo construtivo.

Os quantitativos necessários para a formulação dos orçamentos e cronogramas, foram feitos a partir do projeto elaborado com base na planta baixa e metragem quadrada das alvenarias, cotação de orçamentos com fornecedores locais e pesquisas bibliográficas, assim gerando as planilhas de composição e orçamento.

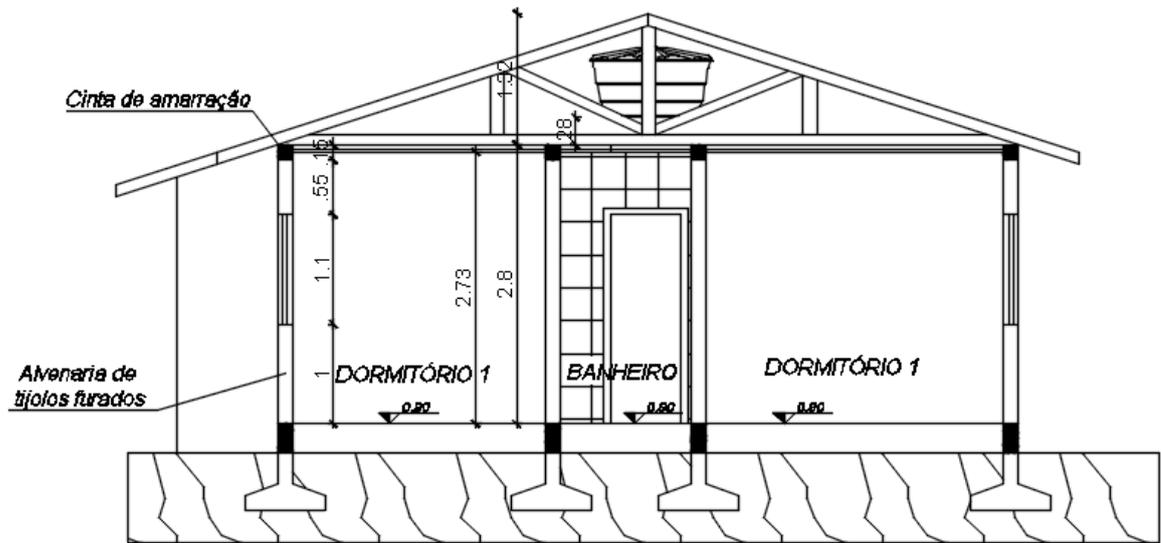
3.1 EDIFICAÇÃO BASE DO ESTUDO

Para a realização do orçamento, fez-se necessário a criação de um projeto arquitetônico residencial. O projeto foi realizado de acordo com os padrões do programa social Minha Casa Minha Vida. A residência proposta possui 45 m², sendo dois quartos, banheiro, salas e cozinha conjugada e lavanderia de acordo com a planta baixa (figura 17).

O lodo proposto para a incorporação na fabricação dos tijolos ecológicos utilizado para a realização do estudo, será de origem do processo de tratamento de água potável da empresa Tubarão Saneamento S.A., localizada no município de Tubarão/SC.

O corte BB (figura 18), demonstra os detalhes construtivos como cotas de alturas, local da caixa d'água e nível do piso.

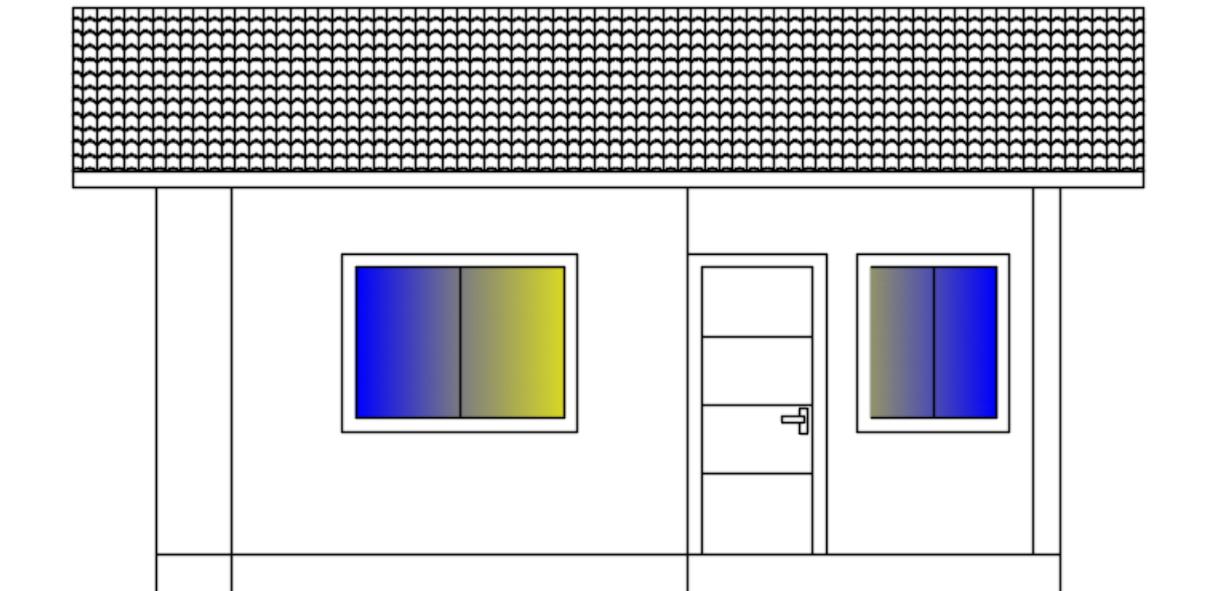
Figura 18 - Corte BB



Fonte. autores,2020

A figura 19 demonstra a vista da fachada frontal.

Figura 19- Fachada frontal



Fonte. Autores,2020.

3.2 TIPOS DE TIJOLOS UTILIZADOS NESSE ESTUDO

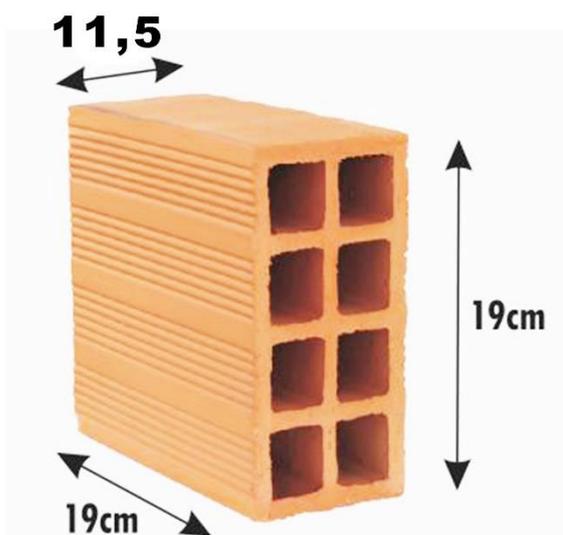
Este estudo mostra os comparativos de custos e de sustentabilidade entre os tijolos cerâmicos, os tijolos de solo cimento e os tijolos de solo cimento com adição de lodo de ETA.

O lodo proposto para a incorporação na fabricação dos tijolos ecológicos utilizado para a realização do estudo, será de origem do processo de tratamento de água potável da empresa Tubarão Saneamento, que se localiza no município de Tubarão/SC.

3.2.1 Tijolo Cerâmico

O tijolo cerâmico a ser utilizado nesse estudo, apresenta as dimensões de 11,5x19x19 cm, conforme o modelo apresentado na figura 20.

Figura 20 – Tijolo Cerâmico



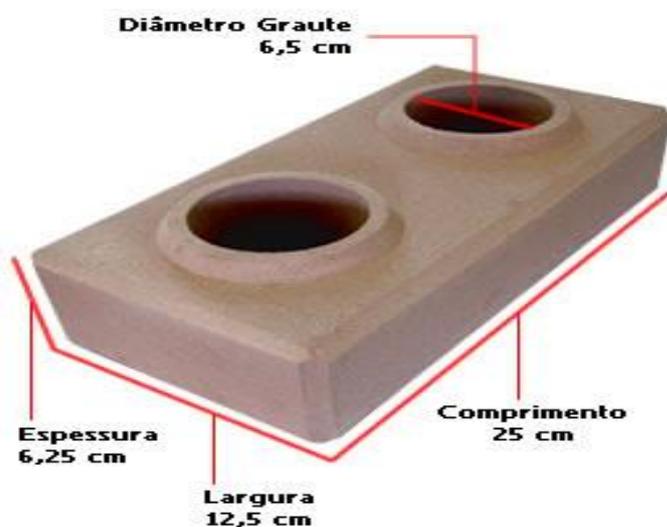
Fonte: Verona materiais de Construção (2020)

Na região sul de Santa Catarina, o principal método construtivo é o convencional, que utiliza tijolo cerâmico. Esse mesmo tijolo fabricado nesta região, apresenta um custo mais baixo do que o tijolo de solo-cimento.

3.2.2 Tijolo Solo-Cimento

O tijolo solo-cimento a ser utilizado nesse estudo, apresenta as dimensões de 12,5x6,25x25 cm conforme o modelo apresentado na figura 21.

Figura 21 – Tijolo Solo-Cimento



Fonte: Leroy Merlin (2020).

O tijolo solo-cimento é uma alternativa para a substituição do tijolo convencional na construção de casas de uma forma sustentável e ecológica. Isso é possível devido ao seu processo de fabricação e cura, onde não é necessário fazer nenhum tipo queima para secagem, pois este tipo de tijolo pode alcançar a cura apenas com água e sombra.

3.2.3 Tijolo Solo-Cimento com adição de lodo de ETA

O tijolo solo-cimento com adição de lodo de ETA a ser utilizado nesse estudo, apresenta as mesmas dimensões do tijolo solo-cimento encontrado no mercado 12,5x6,25x25 cm. A única diferença será a aplicação de 5% de lodo de ETA na composição do tijolo que apresentará solo-cimento e lodo, essa porcentagem acrescentada de lodo substituirá a mesma quantidade de solo natural, trazendo uma economia a mais para o tijolo.

4 RESULTADOS

4.1 INCORPORAÇÃO DO LODO DE ETA

De acordo com as pesquisas realizadas na região, o traço mais comum utilizado em um tijolo ecológico convencional é de 1 para 10, ou seja, a cada 10 quilogramas de cimento são adicionados 100 quilogramas de areia.

O traço a ser utilizado para esta estimativa de custo, é o mesmo utilizado no tijolo de solo-cimento convencional, porém com a substituição de 5% da areia pela mesma porcentagem de lodo. Desta forma, utilizando 10 quilogramas de cimento, 95 quilogramas de areia e 5 quilogramas de lodo, podem ser produzidos aproximadamente 42 tijolos com as dimensões citadas anteriormente.

A edificação base de estudo possui 45m², que resultam em 132m² de parede. De acordo com as dimensões do tijolo em questão, podemos afirmar que são necessários aproximadamente 70 tijolos para cada m² de parede, desta forma, para a construção total da edificação, serão necessários 9.240 tijolos.

Do ponto de vista sustentável e ecológico, para a produção do número total de tijolos necessários para esta edificação, seriam incorporados equivalentes a 1.100 quilogramas de lodo, que geralmente estão sujeitos a outros destinos, podendo ser prejudiciais ao meio ambiente. Mesmo sendo uma edificação pequena, podemos notar a quantidade de lodo que estaria sendo reaproveitada e de forma sustentável, ou seja, nos provando que há possibilidade de com uma produção maior, buscarmos soluções para este problema ambiental.

Atualmente, a estação de tratamento de água de Tubarão – SC, produz o equivalente a 2,5 toneladas de lodo por dia. Essa enorme quantidade de lodo ainda pode variar de acordo com os índices pluviométricos da região, ou seja, a chuva é um fator importante e que pode aumentar de forma considerável a quantidade de lodo produzida. Quanto maior a chuva, maior será a quantidade de materiais suspensos na água.

Além do ponto de vista sustentável e ecológico, essa enorme quantidade de lodo gerada na estação, traz um alto custo para a sua destinação adequada e transporte. De acordo com o engenheiro da concessionária, Leonardo Schmitz de Figueiredo, para se ter uma ideia, a cada tonelada de lodo, a empresa gasta aproximadamente R\$233,00 reais. O que resulta um valor aproximado de R\$17.500,00 reais mensais, que poderiam de certa forma ser investidas em outras melhorias no abastecimento da população.

Tanto no ponto de vista econômico como no ponto de vista sustentável, podemos afirmar que a incorporação do lodo da ETA no tijolo solo cimento, trará diversas vantagens para todos, principalmente ao meio ambiente que é fundamental para as nossas vidas.

4.2 ANÁLISE DE CUSTOS

A tabela 6, detalha os custos referente aos materiais e serviços para execução da alvenaria de tijolo solo-cimento. As instalações elétricas, hidráulicas, elementos estruturais e fundações não foram avaliadas.

Para a execução das alvenarias com tijolos de solo-cimento, levou-se em conta a utilização de argamassa polimérica pronta. Para execução das vergas e contra vergas foi considerada a execução com tijolos de solo-cimento do tipo canaleta, grauteados posteriormente.

A SINAPI não apresenta dados referentes a tijolos solo-cimento. Fez-se necessária a elaboração da composição de preço dos serviços e materiais referentes ao tijolo de solo-cimento, descritos na tabela 6. Para os valores de serviços, foram consultados empreiteiros de mão-de-obra da região de Jaguaruna/SC e Tubarão/SC, assim como os valores dos materiais, obtidos em mercados de materiais de construção.

Tabela 6-Composição de preço do tijolo solo-cimento por metro quadrado

Materiais				
Descrição	Unidade	Consumo	Preço unitário	Total
Tijolo solo-cimento	Un	70	R\$ 0,90	R\$ 63,00
Argamassa	Kg	1,5	R\$ 8,00	R\$ 12,00
Cimento	Kg	15	R\$ 0,50	R\$ 7,50
Areia	m ³	0,005	R\$ 55,00	R\$ 0,28
Pedrisco	m ³	0,005	R\$ 100,00	R\$ 0,50
Barra de aço	Kg	0,5	R\$ 5,00	R\$ 2,50
Resina acrílica	I	0,13	R\$ 45,00	R\$ 5,85
Serviços				
Pedreiro	H	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Servente	H	1,2	R\$ 8,00	R\$ 9,60
Total de material e serviços				R\$ 111,23

Fonte. Autores,2020

Tabela 7- Custos de alvenaria de tijolo solo-cimento

Cód Sinap	Item	Descrição	Und.	Qntd.	Preço Unitário	Preço Total
Mercado	1	Alvenaria de Vedação de Tijolos Solo-Cimento	m ²	132	R\$ 111,23	R\$ 14.682,36

Fonte. Autores,2020

O valor total apresentado na tabela 7, representa a execução de 132m² de alvenaria de tijolos solo-cimento sem revestimento interno e externo.

Assim como o tijolo solo-cimento convencional, o tijolo solo-cimento com lodo também não apresenta dados referentes a ele na tabela SINAPI, para isso, fez-se necessário a elaboração da composição de preços dos serviços e matérias, conforme a tabela 8, com base nos mesmos critérios do tijolo ecológico convencional.

Tabela 8 – Composição de preço do tijolo solo-cimento com incorporação de lodo por metro quadrado

Materiais				
Descrição	Und.	Consumo	Preço unitário	Total
Tijolo solo-cimento com lodo	Un	70	R\$ 0,895	R\$ 62,65
Argamassa	Kg	1,5	R\$ 8,00	R\$ 12,00
Cimento	Kg	15	R\$ 0,50	R\$ 7,50
Areia	m ³	0,005	R\$ 55,00	R\$ 0,28
Pedrisco	m ³	0,005	R\$ 100,00	R\$ 0,50
Barra de aço	Kg	0,5	R\$ 5,00	R\$ 2,50
Resina acrílica	I	0,13	R\$ 45,00	R\$ 5,85
Serviços				
Pedreiro	H	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Servente	H	1,2	R\$ 8,00	R\$ 9,60
Total de material e serviços				R\$ 110,88

Fonte. Autores,2020

Tabela 9- Custos de alvenaria de tijolo solo-cimento com lodo

Cód Sinap	Item	Descrição	Und	Qntd.	Preço Unitário	Preço Total
Mercado	1	Alvenaria De Vedação De Tijolos Solo-Cimento-Lodo	M ²	132	R\$ 110,88	R\$ 14.636,16

Fonte. Autores,2020

O valor total apresentado na tabela 9, representa a execução de 132m² de alvenaria de tijolos solo-cimento com lodo sem revestimento interno e externo.

A tabela 10, apresenta os custos da execução de alvenaria com tijolos cerâmicos com dimensões de 9x14x19cm. Os valores unitários foram obtidos na Tabela Sinapi do mês de maio de 2020, cujos códigos das composições de cada item estão descritos nas planilhas

Os quantitativos contidos foram obtidos nas plantas arquitetônicas da residência

Tabela 10 - Custos de alvenaria de tijolos cerâmicos

Cód Sinapi 05/2020	Item	Descrição	Und	Qntd.	Preço Unitário	Preço Total
87521	1	Alvenaria De Vedação De Blocos Cerâmicos Horizontal De 11,5x19x19cm (Espessura 11,5cm) De Paredes Com Área Líquida Maior Ou Igual A 6m ² Com Vãos E De Preparo Em Betoneira. Af_06/2014	m ²	132	R\$ 67,12	R\$ 8.859,84
87871	2	Chapisco aplicado em estruturas de concretos internas e externas	m ²	263,82	R\$ 13,01	R\$ 3.432,30
87547	3	Massa Única, Para Pintura, Em Argamassa Traço 1:2:8	m ²	263,82	R\$ 17,02	R\$ 4.490,22
88485	4	Aplicação De Fundo Selador Acrílico Em Paredes, Uma Demão. Af_06/2014	m ²	263,82	R\$ 2,06	R\$ 543,47
88495	5	Aplicação E Lixamento De Massa Látex Em Paredes, Uma Demão. Af_06/2014	M ²	263,82	R\$ 9,89	R\$ 2.609,18
88489	6	Aplicação Manual De Tinta Látex Acrílica Em Paredes, Duas Demão	M ²	263,82	R\$ 12,68	R\$ 3.345,24
Total						R\$ 23.280,16

Fonte. Autores,2020

Realizando um comparativo de custos da alvenaria de tijolo solo-cimento (tabela 6) e custos de alvenaria de tijolos cerâmicos (tabela 10), observa-se a redução de 36,93% do custo se executada em tijolos solo-cimento. Quando analisado os custos de alvenaria de tijolo solo-cimento com lodo (tabela 8) e comparado aos custos de alvenaria de tijolos cerâmicos (tabela

10), essa redução é de 37,13%. Também é possível observar que a incorporação do lodo proporcionou a redução de 0,32%, se comparado com tijolo solo-cimento convencional.

É importante salientar que as alvenarias de tijolos ecológicos não necessitam de revestimento internos e externos, este é um fator importante para redução de custo. Outro aspecto vantajoso, é que na composição do preço dos tijolos solo-cimento (tabela 6) já estão inclusos o concreto que formam as colunas e as armaduras. Já na planilha dos tijolos cerâmicos, é necessário a adição dos custos da estrutura de concreto armado, encarecendo ainda mais o orçamento.

4.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS NA INCORPORAÇÃO DO LODO NO TIJOLO SOLO-CIMENTO

O tijolo de solo-cimento encontrado atualmente no mercado de trabalho, apresenta diversas vantagens ecológicas, como exemplo, o mesmo não tem a necessidade de queima no seu processo de fabricação e com a incorporação do lodo de ETA nesses tijolos, as vantagens são ainda maiores.

Como atualmente o lodo de ETA, em sua grande maioria no país, são dispostas em aterros sanitários ou leitos de rios, a sua reutilização, como matéria para a fabricação de tijolos para a construção civil, trará algumas vantagens, como o aumento da vida útil das jazidas de argila assim como a redução de áreas desmatadas para a exploração destas jazidas. Mesmo sendo uma porcentagem pequena de incorporação, o lodo, ao final de um projeto, substitui uma grande quantidade de material natural.

Outra vantagem que devemos levar em consideração, é a diminuição da poluição dos corpos hídricos, levando em consideração que, em diversos lugares do país, o lodo gerado na ETA é lançado direto nos cursos d'água, ocasionando o aumento de sólidos em suspensão e assoreamento, prejudicando a qualidade da água à jusante.

Além das vantagens ecológicas já mencionadas, podemos acrescentar uma vantagem socioeconômica, que a incorporação de lodo pode nos proporcionar, uma nova empresa para a fabricação desses tijolos, gerando oportunidades locais, para a utilização do lodo de ETA para um método construtivo já conhecido, porém pouco utilizado na região.

Do mesmo modo que outros métodos construtivos, os tijolos de solo-cimento também possuem algumas desvantagens, esse tijolo necessita de profissionais especializados para realizar a construção, assim como também deve possuir um projeto completo contendo

detalhes de modulação e compatibilização do tijolo, uma vez que depois de a edificação pronta, esse método construtivo torna mais difícil a sua alteração.

Outra desvantagem que devemos destacar é em relação ao custo, quando comparado apenas o milheiro dos tijolos, o tijolo de solo-cimento se apresenta ligeiramente mais caro que o tijolo cerâmico, e pelo fato de ser um produto não muito conhecido no mercado, assim como outros produtos novos que são lançados no mercado, o tijolo pode apresentar uma desconfiança por parte dos usuários.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo tem como objetivo buscar uma alternativa viável financeiramente e ecológica para o lodo gerado nas estações de tratamento de água, uma vez que este, na maioria dos casos, são lançados em aterros sanitários ou leitos de rios. A alternativa em questão é a incorporação em tijolos de solo-cimento. Com base nas pesquisas realizadas, é possível afirmar que a incorporação adequada possível para esse lodo é a substituição de 5% de solo utilizado para o tijolo pelo lodo gerado na ETA.

Para verificar a viabilidade econômica do trabalho, foi necessário elaborar um projeto para buscar valores reais, realizando a comparação entre os tijolos cerâmico, solo-cimento e solo-cimento-lodo, buscando, com mais detalhes, o que a incorporação do lodo de ETA poderia trazer na utilização nos tijolos e, além dos benefícios financeiros, também os benefícios ecológicos e sustentáveis. Para isso, foi necessário entender e listar quais as vantagens ecológicas da reutilização desse resíduo.

De acordo com o projeto elaborado para estudo, residência unifamiliar de 45m², foi realizada uma comparação de custos entre os tijolos cerâmicos, solo-cimento e solo-cimento-lodo. O tijolo solo-cimento-lodo apresentou um menor valor de custo para este projeto, chegando a uma economia de 0,32% em relação ao tijolo solo-cimento e de 37,13 % em relação ao tijolo cerâmico. A utilização do tijolo solo-cimento-lodo, além de uma economia financeira, também nos proporciona a incorporação de 1.100 quilogramas de lodo, que estariam sujeitos a outros destinos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente. Outro fator importante é a economia que esta incorporação trará também para a concessionária de saneamento, que possui um elevado custo de transporte deste para os aterros sanitários. Em relação ao lodo gerado na ETA, se toda a quantidade gerada fosse reutilizada para a fabricação de tijolos solo-cimento-lodo, esta poderá gerar uma economia de aproximadamente R\$17.500,00 mensais.

Diante dos resultados obtidos, podemos concluir que a incorporação do lodo de ETA nos tijolos de solo-cimento para a construção civil traz resultados financeiros positivos para todas as partes envolvidas, principalmente para as estações de tratamento de água, que irão fornecer o lodo e terão o maior índice de economia, podendo utilizar esse saldo positivo para melhorar cada vez mais a qualidade do fornecimento de água potável para a população, que sairá ganhando também.

Do ponto de vista sustentável e ecológico, podemos afirmar que a utilização do lodo como matéria prima trará enormes vantagens para a população em geral. Não temos dúvidas de que, não apenas os resíduos da estação de tratamento como outros tipos de resíduos gerados nas

construções, devem ser melhor estudados, a fim de garantirmos um futuro melhor, cuidando do meio ambiente que é de fundamental importância para a vida dos seres vivos. Desta forma, procurando opções diferentes para os resíduos produzidos diariamente.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. I. **Nutrient Removal and Sludge Production in the Coagulation Flocculation Process**. Water Research, v. 36, p. 2910-2919. 2002.
- ANDREOLI, C. V. (coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. (Projeto PROSAB).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. São Paulo: ABCP, 1986 (Estudo Técnico 35).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo: Publicações ABCP, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual: procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994) **Bloco vazado de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão e a absorção de água. Método de ensaio**: ABNT NBR 10836. Rio de Janeiro.
- BARROSO, M. M. **Influência das micro e macropropriedades dos lodos de estações de tratamento de água no desaguamento por leito de drenagem**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- BARROSO, M. M.; e CORDEIRO, J.S. **Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001.
- BELL, F. G. Lime stabilization of clay minerals and soils. Engineering Geology, v. 42, p. 223-237, 1996.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 01 de outubro de 2019.
- BRASIL. Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005. **Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social – SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social – FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS**. Diário Oficial da União, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111124.htm>. Acesso em: 01 de outubro de 2019.

CABALA, G. V. E. **Estudo do comportamento mecânico de estruturas de solo-cimento reforçado com fibras de coco e hastes de bambu**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

CABRAL, Vivian Lopes. **AValiação da incorporação do lodo da ETA UFV na manufatura de tijolos de solo-cimento**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/CEBRACE/ ABCP, 1984.

Chies, F., Zwonok, O., Silva, N. I. W, Calarge, L. M. (2000) **Desenvolvimento de tijolos a partir de cinzas pesadas e cal hidratada**. II – Caracterização Tecnológica. In: Frankenberg, C. L. C.; Raya-rodrigues, M. T.; Cantelli, M. (orgs.) **Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental**. Porto Alegre. 140 – 148p.

CORDEIRO, J. S. **Remoção natural de água de lodos de ETAs utilizando leitos de secagem e lagoas de lodo**. In: REALI, M. A. P. (Coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 125-142 (Projeto PROSAB).

CORDEIRO, J.S. Processamento de lodos de Estação de Tratamento de Água – ETA. In: ANDREOLI, C.V. (coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. Seção 2. p. 119-243 (Projeto PROSAB).

DALLACORT, R.; LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 3, p.511-518, 2002

DESTEFANI, A. Z. **Utilização do planejamento experimental na adição do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais para produção de blocos prensados de encaixe**. 2009. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2009.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P. S.; SOUZA FILHO, A. G. Água de lavagem de filtros rápidos. In: REALI, M. A. P. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 143-167 (Projeto PROSAB).

FERRAZ, R. L; BELICANTA, A.; Gutierrez, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagens de misturas de solo-cimento**. Maringá: Editora Eduem, UEM, 2000.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C. C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, 2008.

FIQUEROLA, V. **Alvenaria de solo-cimento**. Revista Técnica, n. 85, São Paulo: Editora Pini, 2004.

GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. 2003. 165f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental**. Cerâmica, v. 51, p. 85-95, 2005a.

INGLES, O. G.; METCALF, J. B. Soil Stabilization – Principles and Practice. Australia: Butterworths Pty. Limited, 1972. apud FOPPA, D. **Análise de Variáveis-Chave no Controle da Resistência Mecânica de Solos Artificialmente Cimentados**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. (2004). **Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha**. Cerâmica, p.324-330, 2004.

PAIXÃO, L. C. C.; YOSHIMURA, H. N.; ESPINOSA, D. C. R.; TENORIO, J. A. S. **Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa**. Cerâmica, p 63-76, 2008.

PENTEADO, P. T; MARINHO R. C. **Análise Comparativa de Custo e Produtividade dos Sistemas Construtivos: Alvenaria de Solo-Cimento, Alvenaria com Blocos Cerâmicos e Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto na Construção de uma Residência Popular**. 2011.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: O tijolo de solo-cimento**. Sinergia, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 53-59, 2005

PORRAS, A. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. **Incorporação do lodo das estações de tratamento de água e agregado reciclado de resíduo da construção civil em elementos de alvenaria – tijolos estabilizados com cimento**. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, v.18, n 2, p. 5-28, 2008.64f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RAMIREZ, Kleber Gomes. **Viabilidade do aproveitamento de resíduos de estação de tratamento de água(ETA) na confecção de concreto**. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Medianeira, 2015.

ROCHA, A. F. Estudo experimental sobre misturas de solo-cimento para a região de Campo Novo do Parecis, MT. 1996. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

RODRIGUES, Lara Pessin. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CAMPOS DOS GOYTACAZES EM CORPOS CIMENTÍCIOS PARA USO EM TIJOLO SOLO-CIMENTO**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – Rj, 2012.

SALA, L. G., **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SEGANTINI, A. A. S; ALCÂNTARA M. A. M. **Solo-Cimento e Solo-Cal**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v.2, cap. 25, p.834-845.

SILVA, M. R. **Incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) em tijolo de solo-cimento como forma de minimização de impactos ambientais**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental) - Faculdade de Aracruz, Aracruz, 2009

SOARES, Alexandra Fátima Saraiva; SILVA, Luís Fernando de Moraes; ARAUJO, Bárbara Janine Reis Silva. **POLUIÇÃO HÍDRICA OCASIONADA PELO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA POTABILIZAÇÃO**. 1º Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Gramado-rs, v. 1, n. 1, p.1-9, 14 jun. 2018.

SOUZA, R. I. B.; SEGANTINI, A. A. S; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p. 205-212, 2008.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha**. 2008. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2008.

Verde Equipamentos. **Prensa manual**. 2019. Disponível em: <<https://verdeequipamentos.com.br/>>. Acesso em: 26 out. 2019

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. **Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa**. Cerâmica, v. 55, p. 385-392, 2009.