

### III-385 - AVALIAÇÃO DO USO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

**Janaína Cristiane Santos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco.

**Brunna Strelow Muniz<sup>(2)</sup>**

Acadêmica do 10º semestre de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco.

**Rocheli Carnaval Cavalcanti<sup>(3)</sup>**

Professora na Universidade Católica Dom Bosco, Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Fernando Jorge Correa Magalhães Filho<sup>(4)</sup>**

Professor pela Universidade Católica Dom Bosco. Doutorando em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rui Barbosa, 2290 - Centro – Campo Grande - MS - CEP: 79002-366 - Brasil - Tel: +55 (67) 3306-5643 - e-mail: [janaina.cristianesantos@gmail.com](mailto:janaina.cristianesantos@gmail.com).

#### RESUMO

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de incorporação de lodos de Estações de Tratamento de Água como matéria-prima em tijolos de solo-cimento, visando a minimização dos impactos ambientais causados pelos setores de saneamento e construção civil, foram realizadas análises para conhecer as características físico-químicas e mineralógicas dos materiais a serem utilizados (solo e lodo de ETA) e, a seguir foram determinadas as proporções a serem utilizadas. Os tijolos foram confeccionados em prensa hidráulica manual em 3 lotes distintos, com os seguintes percentuais de lodo, 43,8%, 23,9% e 25%. A fim de conhecer o melhor traço, levando em consideração o percentual de lodo incorporado, cada lote foi submetido aos ensaios de resistência à compressão e absorção de água aos 28 dias de cura. Comparados os resultados com os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 8492:1984, o lote 3, com incorporação de 25% de lodo, apresentou resistência à compressão igual a 2,8 MPa aos 28 dias de cura atendendo por tanto a norma citada. Essa técnica permite relacionar o reaproveitamento do resíduo na incorporação de tijolos de solo-cimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETA, Estação de tratamento de água, resíduos, resistência à compressão.

#### INTRODUÇÃO

Devido ao rápido crescimento populacional, é necessário que os investimentos nos serviços de saneamento básico sejam maiores, pois com esse aumento na população a geração de resíduos também tende a aumentar. O setor do saneamento básico relaciona saúde, meio ambiente e desenvolvimento.

Para transformar a água bruta em água potável, a água passa por um processo de tratamento, que ocorre nas denominadas Estações de Tratamento de Água (ETAs). O tratamento mais utilizado no país é chamado de tratamento convencional, formado pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Assim como todo processo industrial, o processo das ETAs, geram resíduos, e se não tiverem sua disposição final adequada podem vir a causar sérios danos ambientais.

Embora a maioria dos países desenvolvidos já tenha adequado seus sistemas para gerenciar os resíduos produzidos no processo de tratamento, atualmente, um grande número de estações de tratamento de água ainda lança esse material diretamente nos cursos d'água, principalmente nos países em desenvolvimento (ANDREOLI, 2001).

Um dos principais resíduos gerados nas ETAs é o lodo proveniente do processo de decantação, que possui em sua composição basicamente por partículas do solo, material orgânico carregado no processo de captação, subprodutos gerados da adição de produtos químicos (alumínio e ferro).

Em várias partes do mundo, o tratamento e a disposição de lodos de ETAs vêm sendo tratados como oportunidade de aumento de receita e, principalmente, redução de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico (MEGDA et al, 2005). Uma das práticas que vem se destacando é a incorporação deste resíduo no setor da construção civil.

A construção civil que vem crescendo em larga escala nesses últimos anos, e é uma das maiores consumidoras de matérias-primas. Em busca da sustentabilidade, a reciclagem/reaproveitamento na construção civil vem ganhando espaço e fazendo com que as grandes empresas invistam nas práticas do reaproveitamento dos seus rejeitos nos processos de fabricação, principalmente na fase de alvenaria. Uma das práticas mais abordadas por diversos autores é o reaproveitamento desse resíduo na fabricação de tijolos solo-cimento.

Este trabalho irá estudar a confecção de tijolos solo-cimento com a incorporação do lodo de ETA, produto também conhecido como “tijolo ecológico”, trata-se de um material obtido pela mistura de solo, cimento e de água. Quando trabalhado conforme NBRs apresenta resistência suficiente para diversas aplicações na construção civil. A pesquisa tem como objetivo definir o traço ideal do tijolo a ser confeccionado, através dos testes de resistência de compressão e a absorção de água.

Com base no cenário que vivemos, as análises serão realizadas em função de descobrir uma melhor utilização deste resíduo, que atualmente é dado como problema pelas companhias de saneamento. Este estudo foi realizado com apoio da concessionária responsável pelo sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Campo Grande/MS, visando novas alternativas de disposição final deste resíduo, o emprego viável de novas ferramentas, o desenvolvimento sustentável dos setores de saneamento e construção civil.

Esse trabalho busca avaliar o reaproveitamento do lodo de ETA na construção civil, auxiliando na minimização dos impactos ambientais e no desenvolvimento sustentável. A relevância desse trabalho é destinar adequadamente o resíduo, utilizando-o como matéria-prima na construção civil, visando diminuir a exploração das jazidas de matérias-primas e degradação dos cursos d'água.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentados os locais, materiais e métodos utilizados para obter os resultados dos experimentos desta pesquisa.

### **LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

Em busca de conhecimento sobre o uso de lodo de ETA na construção civil, principalmente o uso na fabricação de tijolos solo-cimento, foram realizadas pesquisas em diversas bibliografias, artigos, trabalhos acadêmicos, publicações, entre outros. Além do uso do resíduo, foram levantados dados bibliográficos das características deste resíduo em outras ETAs do país. Há diversas experiências na área do solo-cimento, envolvendo o uso do lodo de ETA, porém este resíduo varia de acordo com o solo da região.

### **LOCAIS DE PESQUISA**

O experimento foi desenvolvido em 4 (quatro) fases:

1. Determinação em laboratório dos componentes minerais do lodo de ETA e do solo, podendo ser utilizado como aglomerante ou agregado;
2. Fabricação dos tijolos realizada na empresa de processamento e moldagem de tijolos solo-cimento - Ecomáquinas;
3. Realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água para determinar a capacidade de carga do tijolo, realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Católica Dom Bosco - UCDB;
4. Análises dos benefícios do produto para o meio ambiente e concessionária de abastecimento de água do município de Campo Grande – MS.

## ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DO RESÍDUO

Foi realizada visita na ETA Guariroba no dia 26 de abril de 2014 para acompanhar a formação do resíduo (lodo de ETA) no sistema.

São tratados cerca de 1.400 L/s de água captada do Córrego Guariroba, o processo utilizado é do tipo convencional, seguido das seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

## ACOMPANHAMENTO DA LIMPEZA DOS DECANTADORES E DESTINO FINAL DO LODO

Nesta etapa foi acompanhado o processo utilizado na limpeza dos decantadores e posteriormente o descarte do resíduo. Foram observados os seguintes parâmetros: tempo de limpeza, técnicas adotadas para limpeza e estimativa da quantidade de água utilizada.

## ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO GERADO (LODO DE ETA)

As análises das características do lodo de ETA foram obtidas através do laudo técnico disponibilizado pela concessionária, realizado no ano de 2011, onde através dos resultados obtidos, o resíduo foi classificado de acordo com a ABNT NBR 10.004:2004.

## FASE 1 - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DO LODO DE ETA E DO SOLO UTILIZADO

### LODO DE ETA

O lodo incorporado na fabricação do tijolo solo-cimento-resíduo foi coletado na Estação de Tratamento de Água (ETA) de maior porte do município de Campo Grande - MS, localizada na BR 262 – Km 7.

As coletas do lodo de ETA foram realizadas nos meses de junho/julho de 2014. A retirada foi feita com o auxílio de pás e em seguida armazenado em baldes plásticos e levados para o laboratório.

Por se tratar de um resíduo bastante úmido, o lodo de ETA foi despejado em baia para dar início ao processo de secagem, onde observou-se a textura do resíduo correlacionando a sensibilidade ao tato com o tamanho da partícula, através da fricção de uma amostra úmida entre o polegar e os outros dedos.

### SOLO

O solo utilizado nesta pesquisa foi coletado da Fazenda Escola da UCDB Lagoa da Cruz, no mesmo período da coleta do lodo e despejado em baias para dar início ao mesmo processo de secagem do lodo de ETA.

Logo após esse processo o solo foi submetido a análise granulométrica, realizada pelos acadêmicos do curso de Engenharia Civil, em atendimento a ABNT NBR 10.832:1989, onde com a utilização de peneiras n.º 04 e 200 foi possível conhecer a composição do solo através do tamanho de suas partículas e compará-lo com os valores exigidos pela norma (Tabela 1).

**Tabela 1: Características para escolha de solos.**

CARACTERÍSTICAS	REQUISITOS (%)
% passando na peneira da ABNT 4,8mm (n.º 4)	100
% passando na peneira da ABNT 0,075 (n.º 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: ABNT NBR 10832:1989.

## CIMENTO

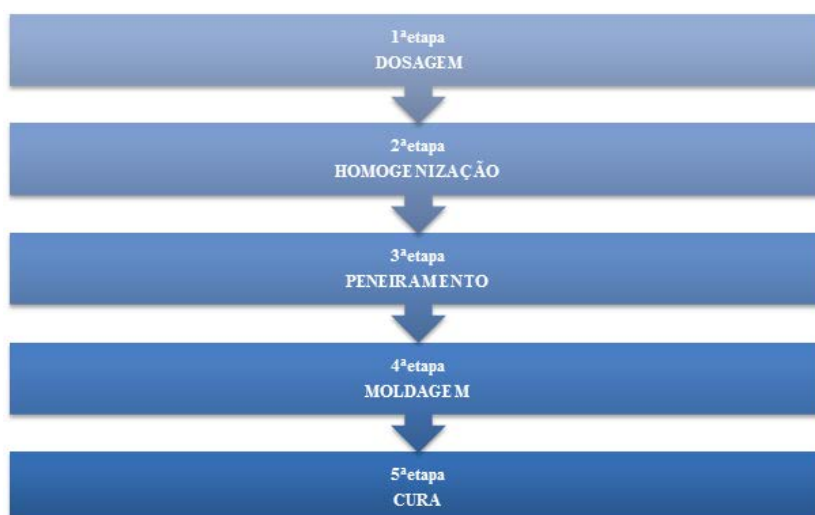
O cimento utilizado na fabricação dos tijolos foi o Itaú convencional (CP II-E-32), Cimento Portland composto com adição de escória de alto-forno. Para evitar o contato deste material com a umidade, após a abertura dos sacos, o cimento foi armazenado em baldes lacrados com tampas.

## FASE 2 - FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS SOLO-CIMENTO-LODO

A etapa de fabricação dos tijolos solo-cimento-lodo foi realizada na empresa EcoMáquinas, localizada na Avenida Coronel Antonino, n. 513, saída para Cuiabá/MS.

Os componentes (solo:cimento:lodo) foram levados para a empresa com o auxílio de baldes e submetidos ao início do processo.

Os procedimentos adotados para a produção dos tijolos, a partir da incorporação de lodo de ETA, são os mesmos utilizados na produção de tijolos solo-cimento. Esse procedimento seguiu as normativas da ABNT NBR 10832:1992 e o relatório de pesquisa de Pisani (2004). A Figura 01 mostra o fluxograma do processo adotado para fabricação dos tijolos.



**Figura 1: Fluxograma fabricação de tijolos solo-cimento-lodo**

A 1ª etapa, denominada dosagem, os componentes (solo-cimento-lodo) foram colocados nas proporções desejadas com o auxílio de uma garrafa PET cortada ao meio para se garantir partes iguais de cada material.

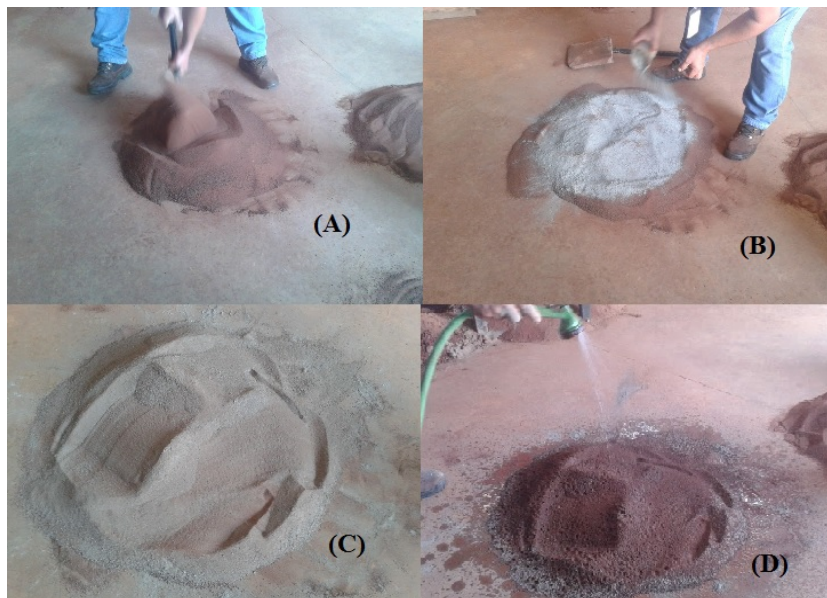
A definição dos 03 (três) diferentes traços para realização dos ensaios de resistência à compressão se deu a partir da fabricação de tijolo solo-cimento, onde a dosagem (cimento:solo) pode variar de 1:8 a 1:14 de cimento e solo em volume, com base nesta proporção a quantidade de solo foi substituído pelo resíduo (cimento:solo:lodo). A Tabela 2 mostra os traços utilizados nesta pesquisa.

**Tabela 2: Traços utilizados na produção dos tijolos solo-cimento-lodo**

Lote	Traço	Porcentagem (%)		
		Cimento	Lodo de ETA	Solo
1	1: 3,5 : 3,5	12,5	43,8	43,8
2	1 : 2 : 4	14,3	28,6	57,1
3	1: 1 : 2	25	25	50

A dosagem de cada componente se deu a partir da medida utilizada pela empresa (copo de 500 mL), como por exemplo para fabricação de 14 (quatorze) tijolos do traço 1:2:4 foram colocados 3 (três) copos de cimento, 6 (seis) copos de lodo de ETA e 12 (doze) copos de solo.

A 2ª etapa, denominada homogeneização, os componentes foram misturados primeiramente solo e lodo (A) e depois acrescentado o cimento (B) e então com auxílio de pás e adição de água os materiais foram misturados de forma a obter uma massa homogenia (C e D), conforme mostra a Figura 2.



**Figura 2: 2ª etapa da fabricação tijolo solo-cimento-lodo.**

A 3ª etapa, denominada peneiramento, a mistura já homogeneizada foi colocada sob uma peneira malha 4,8 mm e peneirada até que não existissem mais “torrões”.

A 4ª etapa, denominada moldagem, a mistura foi transferida para a prensa hidráulica manual da marca Ecomáquinas, modelo Eco Premium – 2600 CH – MA. Os tijolos foram moldados (prensados) com as seguintes dimensões 25,00 x 12,5 x 7,5 centímetros.

Para cada traço escolhido foram fabricados 14 (quatorze) tijolos para serem submetidos aos ensaios propostos na ABNT NBR 8492:1984.

A 5ª e última etapa, denominada cura, os tijolos após retirados da prensa foram empilhados em uma esteira com cuidado para evitar danos na estrutura e submetidos a cura.

A cura é indispensável nos primeiros 7 (sete) dias após a moldagem para garantir que o cimento reaja e se solidifique, neste período os tijolos foram mantidos na câmara de estufa e molhados cerca de 3 (três) horas por dia. Após esse período os tijolos foram retirados da câmara e a cura foi feita através de baldes, duas vezes ao dia, no período de 28 dias.

A metodologia adotada constitui em identificar a proporção mais adequada de solo, cimento e lodo, ou seja, o “traço ideal” com a utilização do maior volume real de resíduo.

### **FASE 3 - REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA**

O objetivo desses ensaios é determinar a relação entre a umidade ótima e a massa específica aparente seca de uma amostra de solo para avaliar a sua aplicação em obras de engenharia quanto à resistência, permeabilidade, compressibilidade e absorção de água. Os ensaios seguiram as normativas exigidas na ABNT NBR 8492:1984,



ou seja, não podendo apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor que 2 Mpa e a média dos valores de absorção de água superior à 20%.

Para cada traço, foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água, conforme estabelecido na ABNT NBR 8492:1984, adotando como critério de execução a Tabela 3.

**Tabela 3: Quantidade de tijolos solo-cimento-lodo a serem fabricados.**

CURA	QUANTIDADE	TESTES	
DIAS	UND.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	ABSORÇÃO A ÁGUA
7	3	3	-
14	3	3	-
21	3	3	-
28	5	3	2

O equipamento utilizado para realização dos testes de resistência à compressão foi a prensa hidráulica da marca Forney e modelo F-502F – CPILOT.

Para realização dos ensaios de absorção de água os tijolos foram pesados secos e logo em seguida submersos em água por um período de 24 horas e então feita a segunda pesagem e obtida a porcentagem de água absorvida através da Equação 1.

$$A = (M_h - M_s) / M_s \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

A = Teor de absorção (%);

M<sub>h</sub> = Peso após ensaio de absorção de água;

M<sub>s</sub> = Peso do tijolo seco.

Após realização dos testes descritos acima e com base nos resultados obtidos foi determinado o traço ideal para fabricação dos tijolos.

#### **FASE 4 - ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS DO PRODUTO PARA A CONCESSIONÁRIA E MEIO AMBIENTE**

Após obtidos todos os resultados referente à resistência e estanqueidade do produto, foram levantados parâmetros através de dados fornecidos pela concessionária e com base na literatura pesquisada, com o objetivo de avaliar as vantagens e desvantagens deste produto para a concessionária e o meio ambiente.

Dos parâmetros levantados foram analisados: quantidade do resíduo gerado por mês, disposição final do resíduo, dados do esgoto tratado na ETE do município após o lançamento do lodo de ETA, custos para operação e manutenção do método de disposição e possíveis riscos caso ocorra acidentes durante o transporte deste.

Em contrapartida, com base na literatura pesquisada foram observadas as vantagens e desvantagens do método de disposição final do resíduo na rede coletora de esgoto e a sua reutilização como matéria-prima na construção civil.

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **PROCESSO DE GERAÇÃO DO RESÍDUO**

A quantidade de lodo gerado em ETA varia em função da tecnologia do tratamento, qualidade da água bruta, tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados no processo de coagulação e floculação da água.

A unidade possui 02 decantadores do tipo convencional, cada um com as seguintes dimensões (6 x 63) metros, onde as partículas mais densas sedimentam formando o resíduo (lodo de ETA).

O lodo gerado na ETA em estudo é drenado do decantador periodicamente, de modo a auxiliar o processo de tratamento de água, visto que o lodo acumula-se com o passar do tempo e ocupa um grande volume destinado ao processo de decantação.

A limpeza dos decantadores é realizada da mesma forma tradicional como a citada por Cordeiro (2001), ou seja, pelo processo de descarga de fundo, sendo executada manualmente num período de 5 a 6 meses de intervalos. Esse processo é realizado com auxílio de uma bomba de água pressurizada com diversos pontos ao redor do decantador e com auxílio de rodos, de modo a retirar todo o resíduo grudado nas paredes do decantador. Neste processo são utilizados cerca de 3.500 m<sup>3</sup> de água e duram por aproximadamente 10 horas.

O resíduo gerado segue por gravidade para o tanque de reservação de lodo, com dimensões de 30,00 x 60,00 x 1,70 metros.

O tanque recebe o lodo úmido, o qual é bombeado gradativamente com a utilização de uma bomba do tipo submersível com potência de 3.000 Watts e mixer, para a rede de esgotos durante um período de 22 dias e tem como destino final a ETE. Após este período de 22 dias o tanque está pronto para receber uma nova carga de lodo.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO LODO DE ETA

Em setembro de 2014 foi coletada uma amostra do lodo e encaminhada para laboratório especializado em análises técnicas, com o intuito de classificar e caracterizar este resíduo. Foram analisados os seguintes parâmetros:

- Resíduo bruto: Análises físicas;
- Lixiviação: Análises químicas;
- Solubilização: Análises químicas.

Foi analisado o resíduo no estado líquido com 95% de umidade e com presença de líquidos livres em 75 mL/100g. Observam-se as principais características da amostra, conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4: Principais características do lodo da ETA Guariroba.**

PARÂMETROS DETERMINADOS	VALORES ENCONTRADOS
Cor	Marrom
pH (Solução a 50%)	7,5
Óleos e graxas	0,11 %

Com base na análise de lixiviação e de acordo com os parâmetros do Anexo F da ABNT NBR 10.004:2004, a amostra apresentou-se valores dentro dos limites máximos estabelecidos, conforme mostra a Tabela 5, caracterizando o resíduo sólido como NÃO PERIGOSO CLASSE II, ou seja, não possui características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

**Tabela 5: Resultados das análises do extrato lixiviado**

PARÂMETROS DETERMINADOS	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO ABNT NBR 10.004/2004 - ANEXO F	VALORES ENCONTRADOS
As	mg/L	1,00	<0,005
Ba	mg/L	70,00	0,492
Cd	mg/L	0,50	<0,001
Pb	mg/L	1,00	<0,005
Cr	mg/L	5,00	<0,025
F <sup>i</sup>	mg/L	150,00	<0,100
Hg	mg/L	0,10	<0,005
Ag	mg/L	5,00	<0,005
Se	mg/L	1,00	<0,005

A Tabela 6 mostra os parâmetros estabelecidos no Anexo G da ABNT NBR 10004:2004 e os resultados obtidos pela análise de solubilização, onde observa-se que os parâmetros Fe e Mn ultrapassaram os limites estabelecidos pela norma, caracterizando o resíduo como NÃO INERTE.

**Tabela 6: Resultados da análise de solubilização do lodo de ETA.**

PARÂMETROS DETERMINADOS	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO ABNT NBR 10.004/2004 - ANEXO G	VALORES ENCONTRADOS
Al	mg/L	0,20	<0,025
As	mg/L	0,01	<0,005
Ba	mg/L	0,70	0,039
Cd	mg/L	0,005	<0,001
Pb	mg/L	0,01	<0,005
CN	mg/L	0,07	<0,050
Cl	mg/L	250,00	8,76
Cu	mg/L	2,00	<0,025
Cr	mg/L	0,05	<0,025
Fe	mg/L	0,30	3,17
F <sup>i</sup>	mg/L	1,50	0,367
Mn	mg/L	0,10	1,38
Hg	mg/L	0,001	<0,0001
Nitratos (expressos em N)	mg/L	10,00	1,61
Ag	mg/L	0,05	<0,005
Se	mg/L	0,01	<0,005
Na	mg/L	200,00	1,16
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/L	250,00	<10,0
Sufactantes	mg/L	0,50	<0,100
Zn	mg/L	5,00	<0,025
Fenóis Totais	mg/L	0,01	<0,030

Através deste relatório de ensaio fornecido pela concessionária e conforme as características físico-químicas e orgânicas apresentadas na amostra do resíduo, este é classificado como CLASSE II A – NÃO INERTE.

Observa-se que as características do lodo da ETA Guariroba são bastante parecidas com o lodo de diferentes ETAs pesquisadas, conforme relatado no item 3.4 desta pesquisa, onde nota-se a presença dos componentes químicos: Al e Fe, devido aos coagulantes utilizados.

Em relação a sua caracterização segundo a ABNT NBR 10.004:2004 é de extrema importância, pois são analisadas as características desse resíduo e então definido quais os métodos de disposição final aplicáveis, e do ponto de vista da construção civil essas características podem não influenciar na fabricação dos tijolos, porém, como o resíduo é não-inerte pode vir a apresentar problemas futuros na estrutura pós ocupação, por serem solúveis em água.



## CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA LODO DE ETA

Os valores obtidos mostram que a composição granulométrica do lodo de ETA, teve 100% passada na peneira de abertura de malha 4,8 mm, atendendo o requisito da norma ABNT NBR 10832:1989, porém na peneira de malha 0,075 mm não atendeu o requisito da norma que recomenda de 10 a 50% passante. Outra característica que pode influenciar na confecção dos tijolos é a presença de matéria orgânica, pois esta pode perturbar a hidratação do cimento.

A Figura 3 mostra a curva granulométrica obtida, onde se observa a distribuição em função do diâmetro das partículas e no lodo de ETA há a predominância de areia fina (24%) na composição do lodo de ETA.

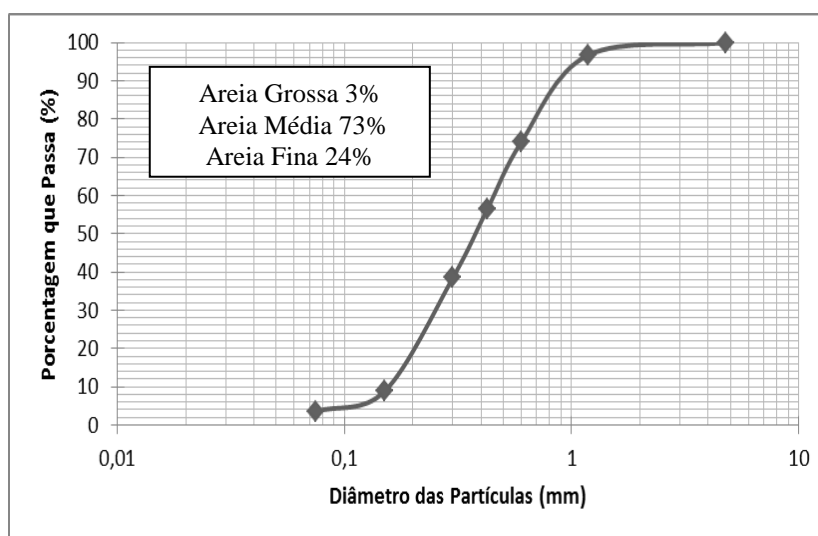


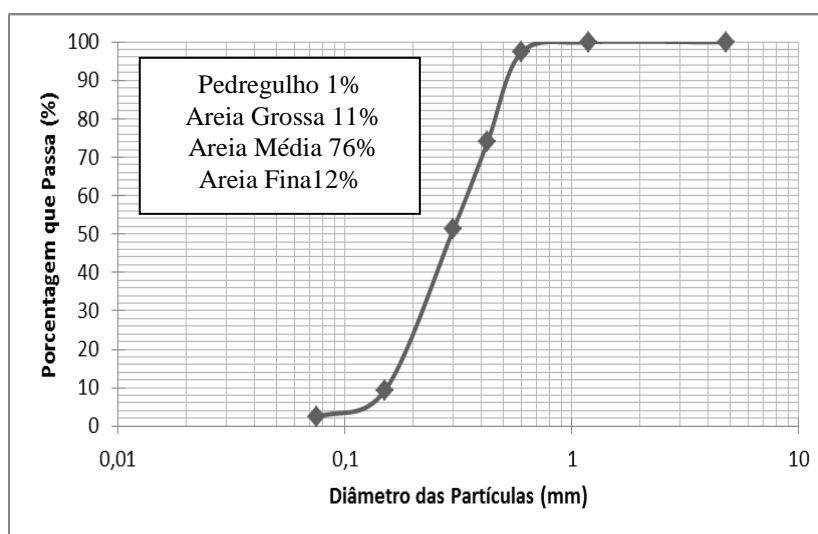
Figura 3: Curva granulométrica do lodo de ETA.

Com base nas literaturas pesquisadas, o lodo de ETA tem características de solo finos diferente da granulometria encontrada nesta pesquisa, por isso ressalta-se a importância de nova análise granulométrica, visto que o lodo seco solidifica-se sendo necessário seu destorronamento até que não haja mais torrões.

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA SOLO

Os valores obtidos ao realizar a análise granulométrica do solo e nota-se que a composição granulométrica do solo utilizado apresentou as configurações, onde 100% da massa passou na peneira de malha 4,8 mm, atendendo o requisito da norma ABNT NBR 10832:1989, porém assim como o lodo de ETA, o solo quando passado na peneira de malha 0,075 mm apenas 2,32% da massa passou, não atendendo ao requisito da norma que preconiza que de 10 à 50% da massa passe.

A Figura 4 mostra a curva granulométrica do solo utilizado e nota-se uma predominância de areia média (76%).



**Figura 4: Curva granulométrica do solo.**

Segundo Silva (2009), a predominância de finos no solo e no lodo indicam que estes materiais não são adequados para fabricação de tijolos de solo-cimento-lodo segundo a ABNT NBR 10832:1992.

Observou-se que ambos os materiais possuem características de solo arenoso, normalmente, os solos arenosos estabilizam-se com pequenas quantidades de cimento, porém devido a presença de partículas finas em sua composição, bem como o não atendimento apenas a um requisito da norma, quando submetidos à peneira de malha 0,075 mm, os resultados obtidos influenciaram na moldagem e nos ensaios de resistências à compressão, porém por se tratar de uma alternativa ambientalmente correta, visto que será feita a introdução de um resíduo na confecção de tijolos solo-cimento, substituindo parte do solo utilizado, decidiu-se dar continuidade nessa pesquisa para verificar o comportamento e influência do lodo de ETA em tijolos solo-cimento.

## FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS

Ao prensar os primeiros tijolos do lote 1, com maior percentual de lodo (43,75 %) não se obteve sucesso, devido a composição granulométrica do lodo ser bastante fina, neste lote grande parte dos tijolos desmancharam. Porém decidiu-se fabricar os tijolos a fim de conhecer sua resistência à compressão.

Uma hipótese a ser estudada é a influência das propriedades químicas e biológicas do solo na estabilização dos tijolos, pois de acordo com Guerra (1999) as propriedades químicas, biológicas e mineralógicas do solo influem no estado de agregação entre as partículas, e na resistência.

Para os tijolos dos lotes 2 e 3, foram obtidos resultados mais satisfatórios, devido ao menor percentual de lodo de ETA, após prensados esses tijolos apresentaram boa liga, resultado esse observado na transposição dos tijolos da prensa até a esteira. A Figura 5 mostra os lotes 2 (A) e 3 (B).

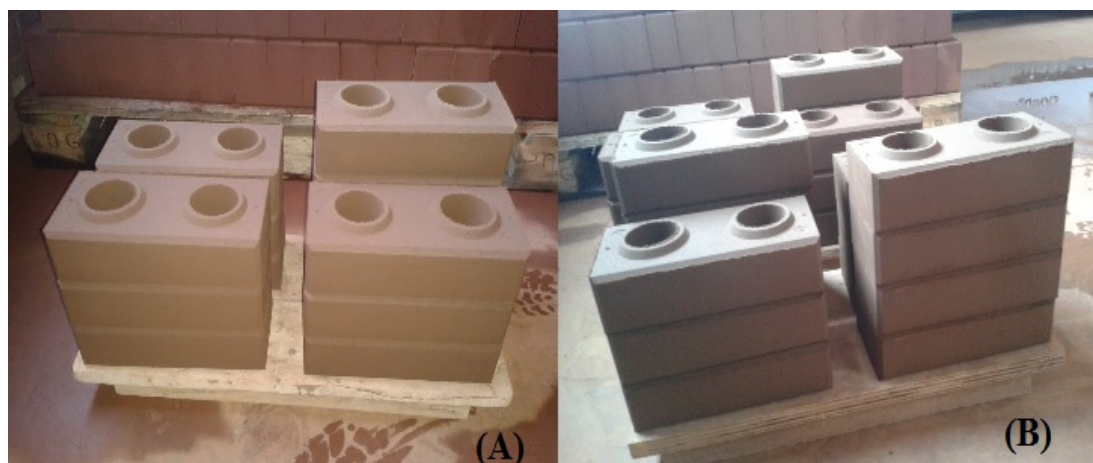


Figura 5: Vista do lote 2 (A) e lote 3 (B).

### ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os testes de resistência à compressão foram feitos aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura com três (03) tijolos para cada período.

O lote 1, com maior quantidade de lodo, não apresentou resistência adequada (0,9 Mpa) conforme estabelecida pela ABNT NBR 8492:1984, ou seja, maior ou igual 2MPa aos 28 dias de cura.

Com relação à resistência à compressão dos tijolos do lote 2 foi possível observar que quanto maior o tempo de cura maior a resistência obtida e, esse aumento nos valores de resistência pode ter sido provocado devido o percentual de lodo ser reduzir para 28,6 %, apresentou um aumento significativo na resistência à compressão, porém aos 28 dias de cura alcançou 1,7 Mpa, não atingindo o mínimo exigido pela norma.

Com relação ao lote 2, devido o resultado obtido aos 28 dias estar muito próximo de 2 Mpa decidiu-se realizar o teste de resistência aos 42 dias de cura, onde observou-se que o resultado obtido ultrapassou o exigido pela norma, atingindo um valor de 2,2 Mpa. Ressalta-se que para essa porcentagem de lodo é recomendada a utilização destes tijolos como material construtivo após os 42 dias de cura, uma vez que a resistência dos tijolos até os 28 dias ainda não atingiu o valor recomendado pela NBR citada.

O lote 3, com maior percentual de cimento (25%), apresentou resultados satisfatórios aos 21 dias de cura (2,20 Mpa) e aos 28 dias a sua resistência aumentou em aproximadamente 25%, alcançando 2,8 Mpa.

A Figura 6 mostra a evolução da resistência dos traços pesquisados.

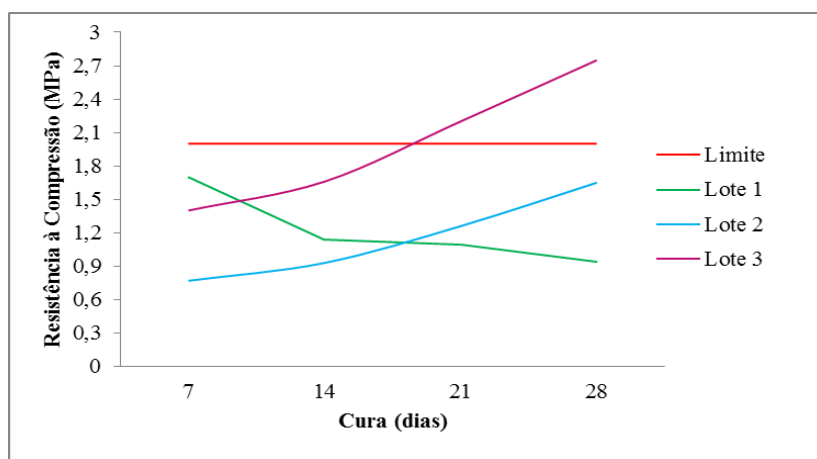


Figura 6: Evolução da resistência dos traços pesquisados.

Pode-se afirmar que para este lote quando aumentado em 10% a quantidade de cimento e reduzido cerca de 4% o percentual de lodo de ETA, obteve-se resultados maiores que aos do lote 2, isso ocorreu devido a maior quantidade de cimento na proporção. Tornando esse traço aplicável como material construtivo após os 28 dias de cura, porém devido ao alto teor de cimento utilizado na mistura, esse lote se torna inviável economicamente do ponto de vista técnico-econômico.

Ressalta-se que o percentual de lodo utilizado nesta pesquisa é alto comparado com outras pesquisas, como a de Silva (2009) que utilizou percentuais de lodo de ETA iguais a 3% e 5% e foram obtidos resultados satisfatórios.

## ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados dos ensaios de absorção de água foram realizados aos 28 dias de cura apenas para os lotes 2 e 3, devido ao resultado negativo obtido no lote 1.

Conforme mostra a Tabela 7 os resultados obtidos para os lotes 2 e 3 estão abaixo do valor exigido pela ABNT NBR 8492:1984 que preconiza que a média seja menor ou igual a 20%, o que caracteriza esses tijolos aptos para uso na construção civil.

**Tabela 7: Resultados dos ensaios de absorção de água**

LOTE	Peso do tijolo seco (Ms)	Peso após ensaio de absorção de água (Mh)	Teor de absorção (A)
	(g)	(g)	(%)
2	3233,9	3364,1	4,03
3	3148,1	3249,4	3,22

## ANÁLISES DOS BENEFÍCIOS DO PRODUTO PARA O MEIO AMBIENTE E CONCESSIONÁRIA

Em relação a geração de lodo a ETA, observa-se na Tabela 8 a quantidade gerada nos meses de janeiro à dezembro de 2013, os dados foram fornecidos pela concessionária responsável pelo abastecimento de água do município e nota-se que a quantidade de lodo gerada por mês é significativa, cerca de 28 toneladas.

**Tabela 8: Quantidade de lodo gerada por mês na ETA**

MÊS	QUANTIDADE (KG)
JAN	30.652
FEV	26.314
MAR	34.073
ABR	37.679
MAI	20.157
JUN	29.040
JUL	25.829
AGO	19.957
SET	26.708
OUT	29.738
NOV	25.981
DEZ	29.418
TOTAL	335.546
MÉDIA	27.962

Com base neste estudo, o lodo de ETA quando incorporado na fabricação de tijolos solo-cimento atende os requisitos de norma, e por ser significativa a quantidade gerada na unidade, pode-se afirmar que essa forma de aplicação para o resíduo é atraente, pois reduzirá a quantidade a ser bombeada para rede coletora, reduzindo custos e atribuindo sustentabilidade a construção civil.

## **DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ETA NA REDE COLETORA DE ESGOTO**

Segundo OMOTO (s.d.), em testes realizados com o lodo da ETA em estudo nesse trabalho, concluiu-se que o resíduo reage tanto no esgoto bruto quanto no tratado, porém, com maior intensidade no esgoto bruto, além da vantagem de possuir uma melhor logística de descarte.

Segundo OMOTO (s.d.), o lodo da ETA não altera a biodegradabilidade do efluente e promove a redução em torno de 35% de fósforo no teste; para ROSÁRIO (2007) quando adicionado lodo de ETA em reatores anaeróbios (UASB) não há interferência no processo biológico. Esses dados caracterizam o método de disposição final como positivo do ponto de vista que agrega benefícios no tratamento de esgoto e os custos são baixos.

Esta técnica de disposição final pode vir apresentar resultados negativos, pois quando se trata de manutenção e operação do sistema de bombeamento, pois o lodo de ETA quando descartado ele se solidifica sendo necessário a utilização de jato d'água para dissolvê-lo e então bombeá-lo para a rede de esgoto, e caso esse resíduo se solidifique poderá vir ocasionar a obstrução da rede.

Essa é a alternativa mais barata para disposição do lodo de ETA, porém segundo Richter (2001) esta alternativa apenas transfere o problema do tratamento e disposição do lodo de ETA para a ETE, logo pode-se afirmar que os custos serão transferidos, pois esse resíduo terá que ser tratado e feita sua disposição adequada.

Do ponto de vista ambiental, o uso do resíduo como matéria prima na construção civil além de ser uma alternativa ambientalmente correta, pois auxiliará na redução da exploração de jazidas, visto que diminuirá a quantidade de matéria-prima a ser utilizada, e segundo Cordeiro (2000) o uso desse resíduo como matéria-prima deixa de ocupar grandes áreas em aterros sanitários. Logo, torna-se este método de disposição o que apresenta maior benefício ao meio ambiente.

Para concessionária, do ponto de vista econômico, a incorporação do resíduo na construção civil é um ganho positivo, pois o resíduo que seria descartado na ETE pode ser comercializado para empresas especializadas em fabricação de tijolos solo-cimento, o que cessará os custos com manutenção e operação do sistema de bombeamento.

## **CONCLUSÕES**

Concluimos que é possível incorporar o lodo de ETA na fabricação de tijolos de solo-cimento, porém se faz necessário novos estudos de proporções a serem utilizadas na composição do traço. Os traços propostos não atenderam aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 10832:1989 que estabelece os limites mínimos de resistência à compressão, também verificamos que para atingir o padrão mínimo de resistência tivemos que acrescentar uma quantidade significativa de cimento, o que na análise de custo inviabilizou economicamente o projeto. Porém do ponto de vista ambiental essa técnica é bastante atraente, visto que os minerais Fe e Mg foram imobilizados, ou seja, ficam fixos apresentando menores riscos para o meio ambiente.

Recomendamos a continuidade dessa pesquisa, buscando soluções visando atender a NBR 10.832:1989 e o equilíbrio da relação resistência X viabilidade econômica.

Recomenda-se para as próximas pesquisas envolvendo o uso do lodo de ETA como agregado na construção civil, seja realizada novamente a análise granulométrica, visto que o lodo depois de seco solidifica-se, sendo necessário seu “destorronamento” com auxílio de equipamentos apropriados.

Recomenda-se para os próximos trabalhos que, seja reduzida a porcentagem de cimento deste traço do lote 3 e consequentemente aumentar a porcentagem de solo, visando obter o melhor custo-benefício do produto.

Para que não haja problemas futuros nas construções que utilizaram esse produto, recomenda-se que sejam realizados estudos das interações químicas existentes entre o lodo e o cimento, devido atividade incerta de corrosão.

Devido à característica granulométrica do resíduo, recomenda-se seu uso na confecção de material cerâmico, pois o fato de sua composição possuir partículas mais finas pode vir agregar valores benéficos no produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1998). Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais: prática recomendada. São Paulo. 8p.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8491:1984 – “Tijolo maciço de solo-cimento – Especificação.” Rio de Janeiro, 4p.
3. \_\_\_\_\_. NBR 8492:1984 – “Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d’água. Rio de Janeiro, 5p.
4. \_\_\_\_\_. NBR 10832:1989 – “Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 3p.
5. ANDREOLI, C. V. & PINTO, M. A. T. Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. In: ANDREOLI, C. V. (coord.). Curitiba: PROSAB, 2001 p. 21 – 24.
6. CORDEIRO, J. S. Gerenciamento de Lodo de ETAs – Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil. São Carlos: UFSCar /FINEP: 2000. 145 p. Relatório Técnico PROSAB 2.
7. GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.; Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.
8. MEGDA, C. R. et al. Propostas de Aproveitamento de Lodos Gerados em ETAs. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES – 7p. Campo Grande - MS, 2005.
9. OMOTO, E. S. Avaliação do descarte de Lodo da ETA diretamente na rede coletora de esgotos. s.d. 7 p. PISANI, M.A.J. Execução do tijolo de solo-cimento. Relatório de Pesquisa: Promoção do Desenvolvimento Sustentável do semi-árido da Bahia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.
10. RICHTER, C.A. Tratamento de Lodo de Estação de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.
11. ROSARIO, C.G.A. Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB). 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
12. SILVA, M.R. Incorporação de Lodo de Estações de Tratamento de Água (ETAs) em Tijolos De Solo-Cimento como forma de minimização de Impactos Ambientais. Aracruz, 2009.