



### III-063 – AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE UTILIZAR LODO DE ETA NA PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO COMO MEIO DE DESTINAÇÃO FINAL PARA A ETA CARAPINA – CESAN-ES

**Manoel Rodrigues da Silva<sup>(1)</sup>**

Licenciado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Pós-graduado em Engenharia de Irrigação pela Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG). Pós-graduado em Saneamento pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestrando em Tecnologia Ambiental na Faculdade de Aracruz (FA/ES). Professor do IFES – Campus Vitória – ES.

**Flávia Pereira Puget**

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

**Mariângela Dutra de Oliveira**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professora do Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) e Engenheira da AQUACONSULT Consultoria e Engenharia e Projetos Ltda.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Blumenau, 36/202, Itapoá. Vila Velha – ES. CEP 29.101.691. Brasil. Tel: (27) 33296618-33312180- 99606955. E-mail: [manoel@ifes.edu.br](mailto:manoel@ifes.edu.br).

#### RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a viabilidade de incorporação do lodo da Estação de Tratamento de Água (LETA) da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN - Carapina), na Grande Vitória, em tijolos de solo-cimento como forma de minimizar a pressão desses resíduos sobre os impactos negativos causados no meio ambiente. Portanto, está sendo feita a caracterização física do lodo e do solo para determinar a granulometria, os limites de Atterberg e a compactação. **Os testes estão sendo realizados a partir das proporções percentuais de 3%, 5%, 8% e 10% de lodo misturado na massa de solo-cimento** e os tijolos confeccionados em prensa manual, **com sua** umidade ótima predeterminada através de ensaio de Proctor Normal. No campo, devido à dificuldade de medir o volume de água, o controle da umidade é feito através do teste do “bolo”. Os ensaios de absorção de água e de resistência à compressão dos tijolos são feitos aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura. Até o momento o único lote de tijolos que está com os valores, obtidos nos dois ensaios, dentro dos limites da norma técnica, é o lote com 3% de lodo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETA, destinação final de LETA, tijolos de solo-cimento.

#### INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados em estações de tratamento de água, principalmente nos decantadores, na lavagem dos filtros e nos tanques de produtos químicos da estação, denominados de lodo de ETAs ou LETAs, são descartados, na maioria das estações, nos próprios corpos de água de captação, sem nenhum tratamento, causando impactos negativos ao meio ambiente. Porém, o LETAs pode ser utilizado como matéria-prima de uso benéfico em fabricação de cimento, disposição no solo, fabricação de tijolos e outros materiais cerâmicos. Este trabalho visa somente o uso benéfico do lodo da Estação de Tratamento de Água da CESAN-Carapina na fabricação de tijolos vazados de solo-cimento em prensa manual.

#### INCORPORAÇÃO DE LETA EM TIJOLOS SOLO-CIMENTO

A fabricação de componentes de alvenaria de solo estabilizado teve sua evolução com a criação da Prensa Cinva-Ram pelo Centro Interamericano de Vivienda y Planejamento – Cinva em 1961. Segundo Grande (2003) trata-se de uma prensa manual para a produção de tijolos de solo-cimento compactados, que foram pesquisados primeiramente no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT em 1977 e 1978.



Segundo o Instituto de Tecnologia do Paraná (Tecpar, 2005) o solo-cimento é uma mistura íntima de solo, cimento e água em proporções definidas de acordo com o método de dosagem escolhido, e compactado na umidade ótima e máxima densidade para atingir uma massa específica conhecida através de ensaios de laboratório. A qualidade da mistura depende da porcentagem de cimento a ser adicionada, da quantidade de água e da massa específica a ser alcançada no ensaio de compactação.

A confecção de tijolos é um mercado potencial do LETA e experiências da Santa Clara Valley Water District e na cidade de Durham, Carolina do Norte (ROLAN, 1976, MIGNEAULT, 1988, *apud* CORNWELL, 1999, p. 49), indicaram que estas ações podem ser um programa viável na destinação final de LETAs como uso benéfico. Segundo Tsutiya e Hirata (2001) na cidade de Durham mais de 15% do lodo produzido nas ETAs é utilizado na fabricação de tijolos, sem nenhum impacto negativo na qualidade estrutural do tijolo.

Cury Neto (2005) afirma que os tijolos prensados são uma ótima utilização do solo estabilizado, que deixa os tijolos com notável resistência, em muitos casos substituindo os tijolos de barro cozido. Devido a pressão com que são compactados, manualmente de 20 a 40 kgf.cm<sup>-2</sup> (2,0 a 4,0 MPa) e mecanicamente até 100 kgf.cm<sup>-2</sup> (10,0 MPa), o consumo de cimento fica em torno de 5%.

Segundo Almeida *et al.* (2001) e Pereira (2008) a incorporação de LETA na fabricação de tijolos de solo-cimento tem várias vantagens, entre elas:

- **ser uma solução definitiva na destinação de LETAs para as concessionárias de serviços de saneamento;**
- **a redução da supressão da vegetação no meio ambiente, devido a atividade extrativa;**
- **a minimização da emissão de fluoretos nas olarias com a queima do material cerâmico; e**
- **a redução da poluição aquática causada pelo lançamento de LETA nos corpos d'água.**

Para incorporar LETAs ao solo-cimento na fabricação de tijolos é necessário conhecer as propriedades físico-químicas do lodo, do solo e do cimento, como também o teor de umidade ótima da massa, baseando-se nas normas técnicas de caracterização dos três últimos elementos, uma vez **que** não há normatização para o lodo.

Segundo as NBR 10832/1989 e NBR 10834/1994 os solos adequados para a fabricação de tijolos maciços e blocos vazados de solo-cimento devem atender as características apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1 - Características de solos para fabricação de tijolos**

CARACTERÍSTICAS	REQUISITOS (%)
% passando na peneira # 4 (4,8 mm)	100
% passando na peneira #200 (0,074 mm)	10 a 50
Limite de Liquidez (LL)	≤ 45
Limite de Plasticidade (LP)	≤ 18

Segundo a NBR 10836/1994 as condições específicas para tijolos de solo-cimento são:

- Resistência à compressão: a amostra ensaiada deve ter média dos valores  $\geq 2,0$  MPa (20 kgf.cm<sup>-2</sup>) e valores individuais  $\geq 1,7$  MPa (17 kgf.cm<sup>-2</sup>) aos 28 dias de idade.
- Absorção de água: a amostra ensaiada deve ter média dos valores  $\leq 20\%$  e os valores individuais  $\leq 22\%$  aos 28 dias de idade.
- Idade dos corpos de prova: Idade mínima deve ser de sete dias.

A qualidade dos tijolos de solo-cimento depende do tipo de solo empregado, de sua granulometria e composição química; da umidade de moldagem; do tipo de prensa usada na fabricação; do tipo e porcentagem do estabilizante e do tempo de cura (PORRAS *et al.*, 2005).

## SOLO

O solo é um sistema complexo constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos, de natureza mineral e orgânica resultante da ação conjugada dos agentes dos intemperismos físico, químico e biológico sobre as rochas (FONTES e FONTES, 1982; REICHARDT, 1987).

As classes texturais do solo segundo Reichardt (1987) são:



- a) Areia: solo solto em grãos individuais, que podem ser vistos e sentidos pelo tato; quando seco, comprimido entre os dedos, colapsa, perdendo a estrutura e, quando molhado, pode ser moldado, mas colapsa quando tocado. Apresenta teores maiores do que 85% de areia.
- b) Areia barrenta ou areia franca: tem mais silte e argila do que a areia, de tal forma que não colapsa com tanta facilidade quando seca e pode ser mais bem moldada quando úmida.
- c) Barro-arenoso ou franco arenoso: solo com alto teor de areia, mas com quantidade suficiente de silte e argila para apresentar-se mais coeso. Quando seco esboroa-se sob pressão dos dedos e quando úmido pode ser moldado com facilidade.
- d) Franco: esta classe de solo apresenta as três frações (areia, silte e argila) em proporções equilibradas. Quando úmido é macio e ligeiramente plástico e quando seco suporta manuseio suave.
- e) Franco-siltoso: material com pouca areia, pouca argila e predominância de silte ou limo. Quando seco forma torrões que se partem facilmente e pode ser moldado tanto seco como úmido. Ao tato dá a sensação de talco.
- f) Franco-argiloso: os torrões mostram-se duros quando secos e quando molhados apresentam-se plásticos, podendo ser manuseados sem se romper.
- g) Argila: forma torrões duros quando secos e molhados apresentam-se plásticos. Apresenta moldagem perfeita quando úmido.

O conhecimento do perfil do solo e de sua subdivisão em horizontes ou camadas permite algumas observações importantes quanto ao emprego dos solos provenientes desses perfis no uso do solo-cimento.

Segundo Azambuja (1979 *apud* GRANDE, 2003, p. 5-11), o perfil A do solo possui pequena espessura, em torno de 20 cm a 30 cm, onde pode ocorrer celulose e húmus. A celulose é inerte, porém o húmus é um ácido orgânico que tem grande afinidade química com a cal livre (CaO) liberada na hidratação do cimento, e mesmo em baixas concentrações, pode afetar a resistência do material. Os solos do horizonte B são, em geral, argilosos com predominância da argila caulinita, de difícil destorroamento. No horizonte C os solos são arenosos e de fácil pulverização, o que indica preferência no emprego em solo-cimento.

Segundo o Instituto de Tecnologia do Paraná – Tecpar (2005), os solos arenosos com argila montmorilonitas  $[(OH)_4Si_8Al_4O_{20}nH_2O]$ , mesmo em baixa porcentagem, podem apresentar graves problemas de desagregação. Quando empregados em pavimentação e na presença de água, provoca grandes expansões no interior da massa do solo. No entanto, quando as argilas não forem expansivas, como as ilitas  $[KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2 + 5H_2O]$  e as caulinitas  $(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O)$ , as dosagens feitas com ensaio à compressão simples tem sido suficientes.

A caracterização das propriedades mecânicas do solo é feita em laboratório de mecânica dos solos para determinar a granulometria, umidade, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), compactação, absorção de água e teste de resistência à compressão, descrita com mais detalhes na metodologia adotada neste trabalho. As Normas Técnicas empregadas nos ensaios de caracterização do solo e do lodo são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Principais Normas Técnicas de ensaios de caracterização do solo e do lodo.**

ENSAIOS	NORMAS
Análise granulométrica	ABNT NBR 7181/1988
Umidade	ABNT NBR 6457/1986
Limite de Liquidez (LL)	ABNT NBR 6459/1984
Limite de Plasticidade (LP)	ABNT NBR 7180/1988
Compactação	ABNT NBR 7182/1988
Resistência à compressão e absorção de água	ABNT NBR 10836/1994

A análise granulométrica é realizada por peneiramento via seca, segundo a NBR 7181 (ABNT, 1988).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais, os equipamentos e os métodos utilizados no trabalho experimental, destacando-se os resultados dos ensaios de caracterização de cada um deles e a sequência das atividades realizadas para elaboração dos tijolos de solo-cimento e solo-cimento-lodo, dividido nas seguintes etapas:



- Coleta das amostras de lodo e do solo;
- Análise granulométrica;
- Limite de Atterberg;
- Compactação;
- Produção dos tijolos;
- Determinação da absorção de água;
- Determinação da resistência à compressão.

O cimento utilizado neste trabalho foi o cimento Portland CP-V, que segundo a **Associação Brasileira de Cimento Portland (2002)** é um cimento de alta resistência e devido ao seu grau de finura menor do que os outros tipos de cimentos, ele tem um menor tempo de pega.

### **Coleta das amostras de lodo**

O lodo passa pelo leito de secagem piloto ao ar livre para o seu desaguamento natural por evaporação e infiltração, até valor próximo da umidade ideal para coleta, o que ocorre de 10 a 15 dias, dependendo das condições climáticas locais. A coleta é feita manualmente, raspando todo o lodo seco aderido à manta e armazenado em recipiente fechado para evitar o contato com a umidade, e em seguida transportado para análise de laboratório.

### **Análise granulométrica do lodo**

No Laboratório de Mecânica de Solos (LMS) do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), foram pesadas 1000 gramas da fração do lodo que passou na peneira de diâmetro 4,8 mm (ABNT 4). Esse material foi destorroado em moedor de grãos, devido a sua grande dureza, pela falta de um moinho específico. Em seguida, o material foi levado para análise granulométrica por peneiramento via seca, passando nas peneiras de 2 mm (ABNT 10), de 1,2 mm (ABNT 16), de 0,6 mm (ABNT 30), de 0,42 mm (ABNT 40), de 0,30 mm (ABNT 50), de 0,15 mm (ABNT 100), de 0,074 mm (ABNT 200) e de 0,045 mm (ABNT 325) de diâmetros e o fundo, para se obter os teores de areias, silte e argila, respectivamente, conforme a NBR 7181 (ABNT 1984).

### **Limite de Atterberg**

O limite de Atterberg, também chamado de limite de consistência, consiste na determinação dos teores limites de umidade entre os estados de consistência líquido, plástico, semissólido e sólido, determinados em solos finos ou em frações finas de solo. Tais limites são divididos em:

- Limite de liquidez (LL): limita a umidade entre o estado líquido e o estado plástico.
- Limite de plasticidade (LP): limita a umidade entre o estado plástico e o estado semissólido.
- Limite de contração (LC): limita a umidade entre o estado semissólido e o estado sólido.

A determinação do Limite de liquidez (NBR 6459/1984) e do Limite de plasticidade (NBR 7180/1988) caracteriza o lodo e o solo quanto aos índices básicos representativos da plasticidade. O limite de liquidez é determinado através do aparelho de Casagrande, segundo as especificações da norma NBR 6459 (1984).

### **Ensaio de Compactação**

O objetivo do ensaio de compactação de um solo é determinar a relação entre a umidade ótima e a massa específica aparente seca, para que se possa avaliar a sua aplicação em obras de engenharia, segundo as especificações da norma NBR 7182 (BRASIL, 1988).

A determinação da umidade ótima e da massa específica aparente seca do lodo foi determinada no laboratório utilizando-se o ensaio de Proctor normal, que consiste em tomar uma quantidade de mais ou menos 3 kg da amostra que passou na peneira de 4,8 mm, adicionar água e compactar em um cilindro de 1000 cm<sup>3</sup> em 3 camadas com 26 golpes/camada, usando um soquete de compactação de 2,5 kg caindo de 30,5 cm sobre o solo.

No ensaio de compactação o lodo apresentou uma umidade ótima de 13,25% com a massa específica aparente seca máxima de 1,78 g.cm<sup>-3</sup> na curva de compactação.



## PRODUÇÃO DOS TIJOLOS

A produção dos tijolos de solo-cimento e solo-cimento-lodo foi realizada na Fábrica de Tijolos Modulares Tencil, localizada em Campo Grande – Cariacica, ES, utilizando-se de seis formulações, sendo o 6º lote como testemunha, de acordo com a tabela 2. Foram confeccionados seis (6) lotes de tijolos, constituindo cada lote, 36 tijolos, perfazendo um total de 216.

**Tabela 2 – Formulações (traços) usadas na confecção dos tijolos**

LODO (%)	CIMENTO (%)	SOLO + ÁGUA (%)	QUANTIDADE DE TIJOLOS
3	10	87	36
5	10	85	36
8	10	82	36
10	10	80	36
10	15	75	36
0	14 + 6% CAL	80	36

A sequência para a produção dos tijolos é a seguinte:

- 1) Mistura-se o solo com o lodo e o cimento, com auxílio de enxada até homogeneização completa da massa.
- 2) Adiciona-se água, com auxílio de uma mangueira equipada com aspersor e mistura-se a massa com enxada, até obter a mistura com umidade ótima. O teste de umidade ótima é feito amassando uma pequena quantidade entre os dedos, ficando a amostra com as marcas dos dedos, e em seguida quebra a mesma ao meio. Se ela romper ao meio, sem esfarelar, a mistura está na umidade ótima.
- 3) Transfere-se toda a massa para um recipiente fechado, (para evitar evaporação da água), e em seguida preenche o reservatório (silo) da prensa.
- 4) Preenche-se o molde da prensa (forma do tijolo) com auxílio da bandeja.
- 5) Recolhe-se a bandeja para iniciar a prensagem do tijolo, travando a prensa, até a alavanca completar o ciclo completo.
- 6) Destrava-se a alavanca e abre o molde da prensa para levantar o tijolo prensado.
- 7) Faz-se a desmoldagem do tijolo produzido e armazena-o no pátio de cura. A cura dos tijolos produzidos é feita molhando de hora em hora, no primeiro dia, e nos dias seguintes, molha-se uma vez por dia, até aos sete dias de cura.

### Determinação da absorção de água

Após a cura dos ensaios (7 dias, 14 dias e 28 dias), os tijolos são levados para testes de absorção de água, permanecendo em tanque de imersão por 24 horas, e depois desse tempo eles são enxutos com pano úmido e pesados para determinação do teor de umidade, segundo a norma NBR 10836/94, usando a equação 1.

$$h = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h = teor de umidade da amostra (%)

m<sub>u</sub> = massa úmida da amostra (g)

m<sub>s</sub> = massa seca da amostra (g).

A resistência à compressão é realizada, também, aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de idade dos tijolos, segundo a norma NBR 10836/94, utilizando-se de uma prensa semi-automática digital, marca Werkstoffprüfmaschinen Leipzig (WPM), do Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), Campus Vitória.

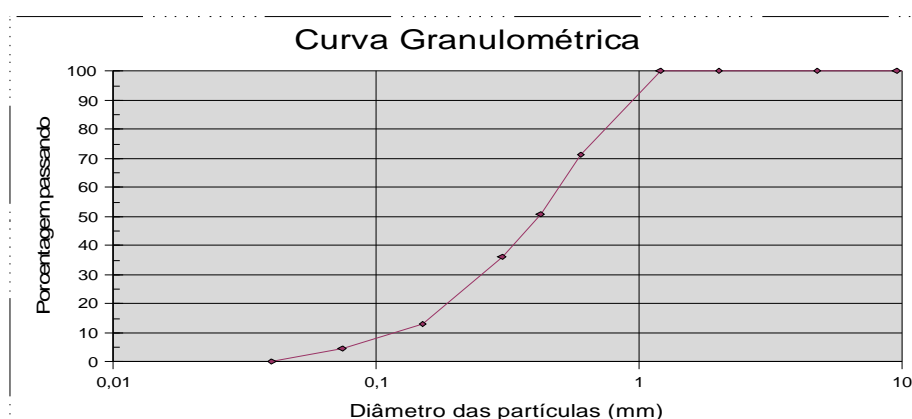
**Ensaio de absorção de água e de resistência à compressão:**• **Aparelhagem:**→ **Resistência à compressão:** máquina de ensaio (prensa) e tanque de imersão.→ **Absorção de água:** balança (sensibilidade de 0,01g), estufa e tanque de imersão.• **Execução dos Ensaio:**→ **Amostras:** representativas dos lotes com dimensões determinadas pela média de pelo menos três valores.**A) Resistência à compressão:** serragem dos tijolos ao meio; união das faces com as pontas serradas invertidas; regularização das faces (capeamento) com massa de cimento. Imersão em água por 24 horas. Centralização. Aplicação de carga paralela aos eixos dos furos (NBR 10836/94)**B) Absorção de água:** secar os tijolos em estufa até constância de massa. Obter peso seco (M1). Imergir por 24 horas no tanque de imersão. Retirar. Enxugar. Obter peso úmido (M2). Empregar a equação (1).**RESULTADOS E DISCUSSÃO****Análise granulométrica do lodo**

A determinação da granulometria do lodo foi determinada por via seca, conforme a NBR 7181 (ABNT 1984) e os resultados estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3 – Resultado da análise granulométrica do lodo da ETA Carapina. LMS (2009)**

Peneira	Abertura	Massa retida	Retido	Passante
ABNT	(mm)	(g)	(%)	(%)
# 10	2,00	0	0	100
# 16	1,20	0	0	100
# 30	0,60	281,76	28,17	71,25
# 40	0,42	201,70	20,17	51,08
# 50	0,30	142,18	14,22	36,86
# 100	0,15	226,40	22,64	14,22
# 200	0,074	84,00	08,40	05,82
# 325	0,045	42,50	04,25	01,57
Fundo	< 0,045	21,46	02,15	0

Graficamente, a composição granulométrica do lodo apresenta a configuração da figura 1

**Figura 1 – Curva granulométrica do lodo.**

Segundo os resultados apresentados pela curva granulométrica, o lodo tem a composição mostrada na tabela 4, indicando um material com predominância de areia média e fina.





Tabela 4 – Composição granulométrica do lodo de Carapina

Composição granulométrica (%) (Escala ABNT)					
Argila	Silte	Areias			Pedregulho
2,15	4,25	Fina	Média	Grossa	
		45,26	48,34	0	0

### Análise granulométrica do solo

O solo usado para fabricação dos tijolos desta pesquisa foi coletado na propriedade da Empresa Temcil – Tijolos Ecológicos Modulares Com. Ind. Ltda, localizada no bairro Morada de Campo Grande s/n, Cariacica – ES. A determinação da granulometria do solo foi feita, também, por via seca, de acordo com a norma 7181 (ABNT, 1984).

Os resultados obtidos nos ensaios de granulometria do solo estão contidos na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de caracterização do solo.

CARACTERÍSTICA FÍSICAS	Norma (NBR)	
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	6508/1984	1,80
Limite de liquidez (%)	6459	NP (*)
Limite de plasticidade (%)	7180	NP (*)
Material que passa na peneira # 4,8 mm (%)	7181	100
Material que passa na peneira # 0,075 mm (%)	7181	6,4
Material que passa na peneira # 0,04 (% de argila)	-	2,15
Material retido na peneira # 0,04 (% de silte)	-	4,24
Material retido na peneira # 0,075 mm (% de areia fina)	-	45,26
Material retido na peneira # 0,42 mm (% de areia média)	-	48,34
Material retido na peneira # 2 mm (% de areia grossa)	-	0
pH (suspensão a 5%)		5,0

(\*) NP – Não plástico

Graficamente, a composição granulométrica do solo apresenta a configuração da figura 2

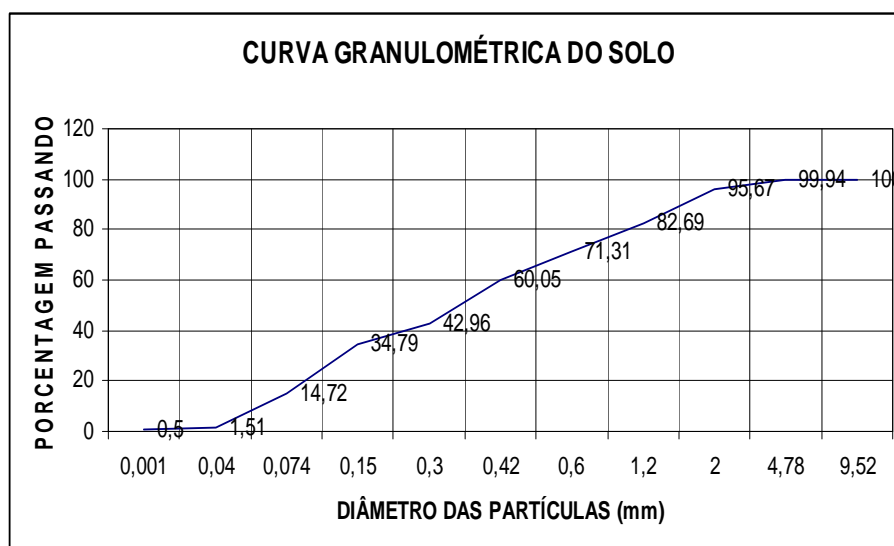


Figura 2 – Curva granulométrica do solo

Segundo os resultados apresentados pela curva granulométrica, o solo tem a composição mostrada na tabela 6, indicando um material com predominância de areia média e fina.



Tabela 6 – Composição granulométrica do solo

Composição granulométrica (%) (Escala ABNT)					
Argila	Silte	Areias			Pedregulho
4,00	12,57	Fina	Média	Grossa	
		39,31	42,54	1,51	0

### Absorção de água e de resistência à compressão

Os tijolos da pesquisa foram fabricados no dia 30/03/2009. Os testes de absorção e de resistência à compressão dos tijolos foram feitos aos 7 dias, 14 dias e 28 dias de cura e os resultados estão apresentados nas tabelas 7 e 8. Segundo os resultados obtidos, até o momento, somente o lote de tijolos com a formulação de 3% de lodo e 10% de cimento atende os limites da norma técnica.

#### 1. Absorção de água: (%) – NBR 10.836/1994.

Tabela 7 – Evolução da absorção de água em tijolos solo-cimento-lodo.

LOTE	TRAÇO (%): LODO- CIMENTO	1ª DETERMINAÇÃO ( 7DIAS )	2ª DETERMINAÇÃO ( 14DIAS )	3ª DETERMINAÇÃO ( 28DIAS )
L1	3:10	21,90	21,90	19,79
L2	5:10	24,00	24,30	21,97
L3	8:10	25,62	25,19	22,76
L4	10:10	27,43	26,97	24,84
L5	10:15	26,80	25,90	25,81
L6	0:14:6 CAL	17,10	16,10	15,13

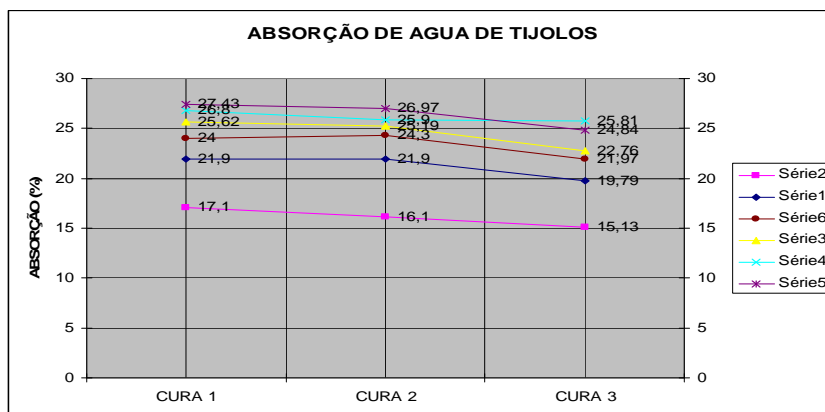


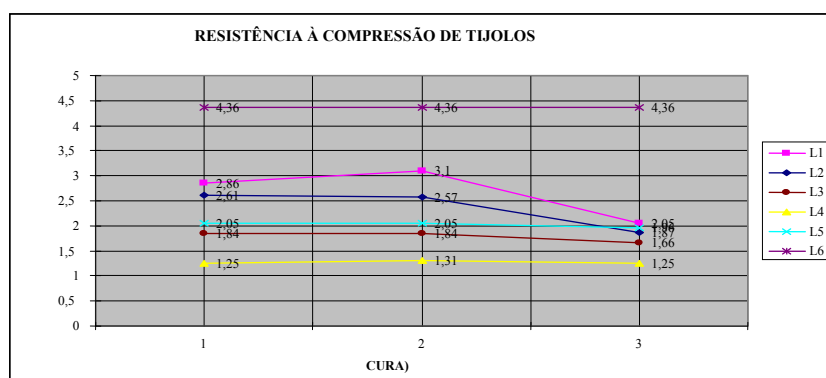
Figura 3 – Evolução da absorção de água dos tijolos.

#### 2. Resistência a compressão - $f_b$ (MPa) - NBR 10.836/1994.

Tabela 8– Evolução da resistência à compressão em tijolos solo-cimento-lodo.

LOTE	TRAÇO (%): LODO- CIMENTO	1ª DETERMINAÇÃO $f_b$ 7 dias	2ª DETERMINAÇÃO $f_b$ 14 dias	3ª DETERMINAÇÃO $f_b$ 28 dias
L1	3:10	2,86	3,10	2,05
L2	5:10	2,61	2,57	1,87
L3	8:10	1,84	1,84	1,66
L4	10:10	1,25	1,31	1,25
L5	10:15	2,05	2,05	1,96
L6	0:14:6 CAL	4,36	4,36	4,36





**Figura 4 – Evolução da resistência à compressão**

Quanto à absorção de água, com base nos valores médios obtidos nas determinações, somente os tijolos do lote L1 (3% de lodo e 10% de cimento) e do lote L6 (testemunha, sem lodo) ficaram entre os limites indicados na NBR 10836/94 aos 28 dias de cura. Os outros lotes tiveram pequena variação na absorção de água no intervalo das três determinações, porém, abaixo dos limites indicados pela norma.

Quanto à resistência à compressão todos os lotes apresentaram pequena variação, porém, dentro dos limites indicados pela NBR 10.836/94 nas três determinações, com exceção dos tijolos dos lotes L3 e L4 (com maiores teores de lodo na composição).

Os tijolos dos lotes que apresentaram dentro dos limites da norma quanto à resistência à compressão e fora dos limites de absorção de água pode ser explicado pelo teor de finos que contém os agregados miudos do solo e do lodo.

Como os resultados de absorção de água e de resistência à compressão tiveram um comportamento muito irregular, estes testes serão repetidos aos 42 dias e aos 56 dias, conforme a NBR 10836.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, M., FRADE, P., CAMPANTE, H.; MARQUES, J.C.; CORREIA, A.M.S. Redução do teor de flúor nos efluentes gasosos da indústria cerâmica. *Cerâmica Industrial*, v. 6, n. 3, p. 7-13, maio/junho. 2001.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7ª. ed. São Paulo, 2002. 28p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 6459 – Solo: determinação do limite de liquidez. Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1984.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 6508. Solo: determinação da massa específica do solo que passa na peneira 4,8 mm. Rio de Janeiro. 1984.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 6457 – Solo: determinação da umidade. Rio de Janeiro. 1986.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 7180 – Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 1988.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 7181 – Solo: determinação da granulometria. Método de ensaio. Rio de Janeiro. 1988.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 7182 – Solo: determinação da compactação. Rio de Janeiro. 1988.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 10.832. Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 10.834. Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: especificação. Rio de Janeiro, 1989.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT NBR 10836 – Tijolos furados: determinação da resistência à compressão e absorção de água. Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 1994.
12. CORNWELL, David. A. Water Treatment Plant Residuals Management. In: *Water Quality and Treatment*. McGraw-Hill. 5ª. ed. Cap. 16. 1999. 1267 p.



13. CURY NETO, NEIDYR. Solo-Cimento Aplicado em Casas Populares. 2005. Disponível em <<http://www.geocities.com/Athens/Styx/5303/?20051>> Acessado em 12/03/2009.
14. FONTES, Eduardo F e FONTES, Mauricio P. F. Glossário de Termos e Expressões em Ciência do Solo. Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 1982.
15. GRANDE, Fernando M. Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Silica Ativa. 165p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.
16. INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ (Tecpar). Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. 2005. Disponível em: <<http://www.sbtt.ibict.br>>. Acessado em: 06/03/2009.
17. PEREIRA, Eliane G. Aproveitamento do Resíduo da Estação de Tratamento de Água de Cubatão para Fabricação de Elementos Construtivos Estruturais. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
18. PORRAS, Alvaro C.; ISAAC, Ricardo. L.; MORITA, Dione. M. Viabilidade técnica da incorporação do lodo dos decantadores das estações de tratamento de água 3 e 4 de Campinas em tijolos estabilizados com cimento. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais ABES: Campo Grande, MS. 2005.
19. REICHARDT, Klaus. A Água em Sistemas Agrícolas. Manole Ltda. São Paulo.1987, p. 27-29. 188 p.
20. TSUTUYA, Milton. T.; HIRATA, Angélica. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ABES.. Anais, João Pessoa. 2001.