



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

revistaing@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada

Colombia

Chávez Porras, Álvaro; Lima Isaac, Ricardo de; Morita, Dione  
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, vol. 18, núm. 2, diciembre, 2008

Universidad Militar Nueva Granada

Bogotá, Colombia

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91100201>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **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**

## **USE OF DRY SLUDGE FROM A TREATMENT WATER PLANT STATION AND AGGREGATED RECYCLED FROM CIVIL CONSTRUCTION IN THE MANUFACTURE OF CEMENT SOIL BRICKS**

Álvaro, Chávez Porras

Engenheiro Industrial, Mestre em Engenharia Civil, Doutor em Engenharia Civil. Professor, Diretor de Pesquisa da Faculdade de Engenharia e Coordenador da Especialização em Planejamento Ambiental e Manejo Integral dos Recursos Naturais, Universidade Militar Nova Granada, Bogotá, Colômbia.

[alvaro.chavez@umng.edu.co](mailto:alvaro.chavez@umng.edu.co)

Ricardo, de Lima Isaac

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas, Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Brasil.

[isaac@fec.unicamp.br](mailto:isaac@fec.unicamp.br)

Dione, Morita

Engenheira Civil; Doutora em Engenharia Hidráulica e Sanitária, Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade de São Paulo; Professora Visitante do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Brasil. [dmmorita@usp.br](mailto:dmmorita@usp.br)

**Fecha de recepción:** 13 de septiembre de 20008

**Fecha de aprobación:** 15 de diciembre de 2008

### **RESUMO**

Resíduos, lodos, de estações de tratamento de água brasileiras são, freqüentemente, lançados diretamente nos corpos d'água, causando impacto ambiental negativo neles. Também, resíduos da construção civil são gerados em grande quantidade e comumente são dispostos em locais inadequados. No entanto, estes podem ser reaproveitados como matérias-primas na própria indústria da construção civil. O presente trabalho está sendo desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização dos lodos dos decantadores das estações de tratamento de água 3 e 4 da Cidade de Campinas, SP, Brasil, juntamente com o agregado reciclado miúdo de resíduo da construção civil deste município, na fabricação de tijolos estabilizados com cimento. Procurou-se incorporar a máxima quantidade de lodo e minimizar a de cimento. Desta forma, foram investigadas as proporções mássicas cimento:agregado reciclado miúdo:lodo de 5:85:10, 5:80:15, 5:75:20, 5:50:25, 10:80:10, 10:75:15, 10:70:20 e 10:65:25. Para cada uma destas proporções, variou-se, como componente principal de avaliação, o teor de umidade do lodo: 0, 50, 70 a 74% e 75 a 80%. Os tijolos foram confeccionados com prensa manual, tipo solo-cimento, e na umidade ótima pré-determinada através de ensaio de PROCTOR. Os resultados mostraram que a umidade do lodo influenciou significativamente na qualidade dos tijolos, sendo possível sua confecção somente com teor de umidade abaixo de 50%. Nenhum tijolo produzido nas condições

estudadas no presente trabalho atendeu simultaneamente aos requisitos das normas brasileiras de qualidade - dimensões, absorção de água e resistência à compressão.

**Palavras-chave:** Entulho, agregado reciclado, lodos de tratamento de água, componentes solo-cimento, reciclagem de resíduos.

## ABSTRACT

Garbage and sludge, from treatment water Brazilian plant station are, frequently, disposed and launched directly in the water bodies, causing a negative impact in the environment. Also, residues from the civil construction which are generated in great amount and are usually thrown away in the last place to put them. However, these can be reused as raw materials in the proper industry of civil construction. The present work is being developed with the objective of evaluating the viability of the use of the sludge from the decanters of the treatment water plant stations 3 and 4 of the Campinas city SP, Brazil, along with the aggregated recycled residue from the civil construction of this city, to manufacture stabilized bricks with cement. It was tried to incorporate a maximum amount of the sludge so that the amount of cement will be minimized. In such a way, the ratio of mass cement: aggregated small recycled debris and sludge had been investigated mass ratios cement: aggregated small recycled debris(aggregate): sludge in 5:85:10, 5:80:15, 5:75:20, 5:50:25, 10:80:10, 10:75:15, 10:70:20 and 10:65:25. For each one of these ratios, the main component of evaluation, varied according to the texture of humidity of the sludge: 0, 50, 70 74% and 75 80%. The bricks had been manufactured with a manual pressing machine, and a type of ground-cement, and it has to have an excellent predetermined humidity through a testing PROCTOR. The results had shown that the humidity of the sludge influenced significantly in the quality of the bricks, being possible their manufacture only with a texture of humidity 50%(humidity) below. None other brick produced in the studied conditions as in the present work, has taken into account the requirements of the Brazilian norms of quality - water dimensions, absorption and compressive strength.

**Key words:** Debris, recycled aggregated, sludge of water treatment, components ground-cement, recycling of residues.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável foi concebido para permitir à humanidade usufruir os recursos naturais atuais sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras também possam fazê-lo (ONU, 1987). Com esta idéia inicial, a adequada disposição dos resíduos constitui um problema ambiental que deve ser resolvido. Geralmente, o destino final destes são os aterros sanitários, o que não é considerado atualmente, como sendo a melhor solução. Segundo DIJKEMA *et al.* (2000), vem nascendo um novo paradigma para o gerenciamento: o conceito de resíduo vem

sendo redefinido no sentido de entendê-lo como matéria-prima de um novo processo. Um produto é considerado resíduo quando não tenha sido usado em todo seu potencial. A produção mais limpa é uma técnica que busca a minimização de uso de insumos materiais, através de ações entre o processo industrial e o meio ambiente. Avaliam-se as quantidades e tipos de matérias-primas utilizadas e a origem do desperdício (resíduos e emissões) ou da parcela subutilizada.

Minimizando a quantidade de resíduos, os custos de tratamento e disposição são menores; desta forma, diminui a quantidade de matéria-prima utilizada na produção e dos insumos de energia necessários. Assim, reduzem-se a quantidade de material extraída do meio ambiente nas jazidas, os custos nas indústrias e os passivos e impactos ambientais (ECOPROFIT, 1998 *apud* CYBIS & DOS SANTOS, 2001). Estas políticas de produção mais limpa integram os objetivos ambientais aos dos processos produtivos, propondo um crescimento econômico sustentável, com uma excelente proposta ambiental e constituindo um bom negócio para as indústrias. Segundo CYBIS & DOS SANTOS (2001), entre as indústrias em nível mundial, a construção civil é uma das mais importantes, acarretando grandes quantidades de perdas em seus processos. O uso dos resíduos e desperdícios, próprios e de outras indústrias, torna-se um desafio para seus administradores, que tentam minimizar os custos de materiais e insumos a serem usados nos projetos. Para ÂNGULO *et al* (2000), a reciclagem de resíduos faz parte do Desenvolvimento Sustentável na construção civil.

## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O rápido crescimento da população urbana implica, indiscutivelmente, em aumento da demanda de produtos, bens e serviços, o que leva à necessidade de expansão industrial e ao conseqüente acrescentamento na geração de resíduos. Ao mesmo tempo, com o aumento populacional, cresce a necessidade de serviços de saneamento básico. A Estação de Tratamento de Água (ETA) pode ser considerada, de fato, a unidade produtiva da “indústria da água”. Deve possuir unidades em que se desenvolvem operações e processos unitários, que utilizam um recurso natural (água superficial ou subterrânea) como matéria-prima, faz uso de insumos (produtos químicos), consome energia elétrica e gera resíduo. Isto para a obtenção de um produto final, a água para abastecimento público.

Os resíduos gerados nos decantadores (lodos) e filtros (água de lavagem dos filtros) das ETAs são dispostos freqüentemente em corpos d’água mais próximos, sem nenhum tratamento, causando problemas ambientais, tais como risco à vida aquática residente, aumento da quantidade de sólidos, assoreamento, mudanças de cor e turbidez, aumento das concentrações de metais (provenientes dos resíduos), além de, gradualmente, poder causar riscos à saúde pública, uma vez que os lodos concentram as impurezas presentes na água bruta (CORDEIRO, 1999; ISAAC, 2000).

Os lodos das ETAs no Brasil são classificados como resíduos sólidos pela NBR 10004 (Brasil, 2004) da ABNT e o descarte deve atender à Legislação Ambiental.

Para BARBOSA *et al.* (2001), CHAVEZ (2002), KNOCKE *et al.*, (1987) *apud* WU & HUANG (1997), YUZHU (1996) e RICHTER (2001), as características do lodo dependem dos processos e dos tipos de produtos químicos usados no tratamento; a porcentagem removida encontra-se na faixa de 0,2% a 5% do volume total de água tratada nos decantadores. Deve-se incluir, também, a parcela de água de lavagem dos filtros, a qual, dependendo do processo, corresponde a 5% a 10% do volume total tratado. De acordo com AWWA (2001), o lodo possui características similares aos solos. Essas podem variar em função da qualidade da água do manancial e da tecnologia usada no tratamento (SARON & LEITE, 2001).

O volume de lodo proveniente dos decantadores varia de 60% a 95% do total de resíduos gerados e a água de lavagem dos filtros, 5% a 40%. Estes contêm sais de alumínio ou ferro, usados na coagulação química, sendo o hidróxido resultante seu principal constituinte; são considerados fluidos tixotrópicos (não-newtonianos), gelatinosos em repouso e líquidos em movimento; devido ao teor de água de hidratação presa nos flocos seu desaguamento se mostra dificultoso. Dependendo da qualidade da água bruta captada para tratamento, são adicionados outros elementos, tais como o carvão ativado, agentes oxidantes e polímeros auxiliares de coagulação (REALI, 1999).

**Tabela 1. Características Físicas e Químicas do Lodo, segundo vários autores.**

Parâmetro/Unidade Lodo	Valor
pH	5,8 a 7,6
Sólidos totais - mg/L	1100 a 81575
Fósforo total - mgP/L*	2,1 a 33,7
Fósforo solúvel - mgP/L*	0,01 a 6,0
Alumínio - mgAl/kg	1700 a 171769
Cádmio - mgCd/L	0,01 a 0,14
Chumbo - mgPb/L	0,50 a 2,66
Cobre - mgCu/L	0,06 a 2,06
Cromo - mgCr/L	0,35 a 3,82
Mercúrio- µgHg/L	0,1 a 1,3
Zinco- mgZn/L	0,1 a 4,25
Sulfato - mgSO <sub>4</sub> <sup>2</sup> /L	1.010

Fonte: CHAO (2006).

Geralmente, são formados por areia, argila, silte, produtos químicos usados na coagulação, substâncias húmicas e organismos, tais como bactérias, vírus, algas, entre outros. No caso de lançamentos nos córregos ou rios, estas impurezas podem provocar elevação da DQO, inibição da atividade biológica, mudanças de cor e

turbidez e aumento da concentração de sólidos do corpo receptor, além de influir negativamente em áreas de criação e desova de peixes (BARBOSA *et al.*, 2001). Na ausência de uma contaminação significativa da água bruta, apresenta-se um lodo com fração orgânica pequena, bastante estável e não putrescível; para períodos de chuvas, o teor de matéria orgânica se eleva (DI BERNARDO, 1999; GRANDIN *et al.*, 1993). No período chuvoso em relação ao de estiagem, pode-se observar que a água bruta apresenta maiores valores nos teores dos parâmetros avaliados, aqueles que aumentavam a degradação dos corpos receptores como a alta turbidez e a DQO, a grande quantidade de sólidos, a elevada carga de nutrientes (N e P) e a presença considerável de metais como Al, Mn e Fe. Outras fontes de contaminação podem ser os polímeros sintéticos comerciais usados como auxiliares de coagulação, já que muitos monômeros apresentam toxicidade. Na Tabela 1 apresentasse as - características físicas e químicas do lodo segundo vários autores.

Outras propriedades do lodo consideradas importantes são o teor de umidade e os Limites de Atterberg. NUNES & SARTORI (1997) caracterizaram o lodo de tal forma a encontrar justificativa para seu uso como matéria prima para a construção civil, realizando ensaios que normalmente são utilizados para solos, para caracterizar lodos do decantador e da água de lavagem, determinando a granulometria e os limites de plasticidade e de liquidez.

Alem disso, o acelerado processo de urbanização tem como consequência, também, um aumento na demanda de obras civis. A indústria da construção gera uma grande quantidade de resíduos na execução, manutenção, reformas, desocupação e demolição de obras. Em geral, estes resíduos são dispostos: em encostas, gerando depósitos instáveis, que podem causar deslizamentos; junto a sistemas de drenagem e canais, podendo obstruir o escoamento e provocar inundações ou em lixões, aumentando o volume a ser descontaminado.

PINTO (1999) *apud* JOHN & AGOPYAN (2000) estimou que nos municípios brasileiros de médio e grande porte, a massa de resíduos produzidos pela construção civil varia de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos. E as estimativas para cidades como Jundiaí, Santo André, São José dos Campos, Belo Horizonte, Ribeirão Preto, Campinas, Salvador e Vitória da Conquista variaram entre 230 kg/hab.ano até 760 kg/hab.ano, com uma média de 510 kg/hab.ano. Para BRITO (1999), a estimativa de resíduos produzidos pela Prefeitura Municipal de São Paulo ta de aproximadamente 280 kg/hab.ano. Projeções do IBGE (2007) mostram que cada habitante, em média, geraria anualmente 0,51 t destes resíduos, o que significa que o volume de entulho no Brasil seria da ordem de 92 milhões de toneladas/ano. Segundo PINTO (1995), cerca de 64% do resíduo em um canteiro de obras é formado por argamassa, 30% por elementos de alvenarias de vedação (tijolos, telhas e blocos) e 6% por outros materiais como concreto, pedra, areia, metais e plásticos.

A Região Metropolitana de Campinas é uma das mais importantes do Estado de São Paulo, tem base numa economia diversificada e alcançou nas últimas décadas do século passado, elevado grau de desenvolvimento industrial, agrícola, comercial e de serviços, constituindo-se em importante centro científico, tecnológico e cultural. A

intensa urbanização veio acompanhada pelos problemas citados anteriormente. De acordo com a Prefeitura Municipal, a quantidade de resíduos de construção civil gerada diariamente é estimada segundo dados de 1995 do Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura (CAMPINAS, 1996 *apud* ZORDAN, 1997) em 1.800 t/dia, e sua disposição era em “bota-foras”. Setenta por cento eram originados na construção e demolição e os 30% restantes em indústrias de outros gêneros.

A partir da segunda metade da década de 1970, começaram a ser realizadas no Brasil, diversas pesquisas e experiências na tentativa de viabilizar, do ponto de vista técnico-econômico, moradias populares de baixo custo. A produção de habitações de tijolos de solo-cimento foi uma das alternativas mais freqüentemente adotadas, devido à facilidade de fabricação desse componente e de execução da alvenaria (CEPED – CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO, 1984). Outra vantagem foi a possibilidade da incorporação de outros materiais na fabricação deste tipo de tijolo, como por exemplo, o agregado produzido com entulho reciclado na área urbana.

O presente trabalho está sendo realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de parte do agregado reciclado do entulho com os lodos desaguados das ETAs 3 e 4 de Campinas, na confecção de tijolos tipo solo-cimento.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1998), o solo-cimento “é o material resultante da mistura homogênea, compactada e curada de solo, cimento e água em proporções adequadas”. O produto resultante “é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade”. Dos materiais, o solo é o elemento mais utilizado para sua obtenção e o cimento colocado para estabilizá-lo varia de 5% a 10% do total, o qual confere as propriedades de resistência no composto. Os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%, limitando-se o uso para os que contêm matéria orgânica ao composto.

Para CASSA *et al.* (2001) e a CEF – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2001) no livro da reciclagem de entulho para produção de materiais de construção, na década de 1950, o pesquisador colombiano G. RAMIREZ, residindo no Chile, criou uma prensa manual para a fabricação de tijolos, que passou a ser conhecida mundialmente como prensa CINVA-RAM. A prensa fazia uso do material na forma comprimida, fabricando um tijolo por vez, e a Associação Brasileira de Cimento Portland realizou trabalhos utilizando a técnica, desenvolvendo uma prensa para essa atividade. O equipamento molda três tijolos ao mesmo tempo, mas não consegue dar uma pressão uniforme aos elementos de alvenaria. A pressão alcançada por esta prensa é de cerca de 2 MPa. No estudo, com relação ao tipo de solo, consideraram as seguintes quantidades desejáveis para a fabricação dos elementos de alvenaria solo-cimento: 10% a 20% de argila, 10% a 20% de silte e 50% a 70% de areia. A areia apresenta grãos finos de 0,05 mm a 0,25 mm, mas para solos muito argilosos, com limites de liquidez e plasticidade altos, para adequá-los, deve-se maturá-los com areia em proporção adequada. Não é recomendável o uso do solo da camada superficial do

terreno, por conter material orgânico, raízes ou pedras. Com relação à cor, consideram-se ideais os vermelhos ou amarelos. No caso de solo ácido, para neutralizá-lo, recomenda-se a correção com cal. O tipo de prensa usada na fabricação determina a resistência dos elementos de alvenaria, considerando-se as hidráulicas melhores pelo fato de aplicar pressões maiores. O autor também apresentou a avaliação do uso do agregado miúdo em tijolos de solo estabilizado com cimento, sendo a granulometria e a plasticidade os critérios para seleção de solo e a proporção. As características dos solos adequados para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, segundo CASSA *et al.* (2001), estão baseadas na NBR 10832 (Brasil, 1989) da ABNT.

Em relação à granulometria, os solos arenosos são os mais adequados para estabilização com cimento, segundo a ABCP (1998). Para o CEPED - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (1984) é importante considerar que o consumo do estabilizador, o cimento, depende do tamanho dos grãos do solo e da sua uniformidade; a existência de grãos maiores (areia grossa e pedregulho) é benéfica, pois esse material atua como enchimento, liberando uma maior quantidade de cimento para ligar os grãos menores, uma vez que se deve ter um teor menor de fração fina, pois a resistência é devida à coesão da fração compactada. Os limites de liquidez e de plasticidade são as variáveis que melhor expressam as condições de trabalhabilidade do solo, gerando, com o aumento dos valores desses limites, maior dificuldade no destorroamento, mistura e secagem. O CEPED também realizou ensaios com amostras de solos laterítico e saprolítico e agregado miúdo da Região Metropolitana de Salvador.

O uso do lodo na construção civil é uma alternativa promissora à disposição em aterros sanitários, considerando a força do setor no Brasil (MORITA *et al.* 2002). Aterros devem ser as últimas alternativas a serem consideradas, pois há escassez de áreas para sua construção, especialmente nas zonas mais adensadas, onde se geram os maiores volumes de lodo; o custo de disposição é alto - variando de US\$17 a US\$ 32 por tonelada fora os custos com transporte e há dificuldades de locação de áreas para a construção de aterros. O aproveitamento do entulho pelo mesmo setor que o gera, a construção civil, facilita a reciclagem, contribui para minimizar os prejuízos dos descartes irregulares em cursos d'água ou vias públicas e prolonga a vida útil dos aterros sanitários.

**Tabela 2.** Características para seleção de solos.

Característica	Requisitos (%)
% passando na peneira 4 (4,8 mm)	100
% passando na peneira 200 (0,075 mm)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

A qualidade dos tijolos tipo solo-cimento depende fundamentalmente: do tipo de solo empregado, sua granulometria e composição química; da umidade de moldagem; do tipo de prensa usada na fabricação; do tipo e percentagem do estabilizante; do tempo de cura. Em geral, espera-se que a plasticidade do material não deva ser



excessiva e não ultrapasse o limite de 45% e sua composição granulométrica esteja nas faixas de: argila de 10 a 20 %, silte de 10 a 20% e areia de 50 a 70%. Para material muito argiloso, com limites de liquidez e plasticidade altos, deve-se misturá-lo com areia em proporção adequada. Na Tabela 2 são apresentadas as características dos solos adequados para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, segundo NBR 10832 da ABTN.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida nos Laboratórios: de Resíduos Sólidos (LABRES) e de Saneamento (LABSAN) da UNICAMP. As amostras do agregado reciclado de entulho foram coletadas na Unidade Recicladora de Materiais São Caetano e o lodo desaguado, na Estação de Tratamento de Lodo (ETL) das ETAs 3 e 4, ambas em Campinas, SP.

### **2.1 Descrição das ETAs 3 e 4 de Campinas**

As ETAs 3 e 4, da cidade de Campinas, tratam cerca de 2,9 m<sup>3</sup>/s de água captada do rio Atibaia. Ambas compartilham um sistema de pré-tratamento, no qual se faz a adição de carvão ativado em pó à água bruta, caso necessário. Este produto é, então, removido em pré-sedimentadores, localizados à montante da unidade de mistura rápida. O cloreto férrico é utilizado como coagulante. As câmaras de floculação são em série, com gradientes escalonados, promovidos por floculadores mecanizados. O valor do pH de coagulação está na faixa de 9 a 10, para a precipitação de ferro e manganês. Os decantadores na ETA 3 são do tipo convencional com raspadores contínuos de lodo e os da ETA 4, do tipo laminar, com placas planas paralelas. Nestes, a remoção do lodo ocorre por sistema de *manifold*. Os filtros rápidos de dupla camada (areia e antracito) operam por taxa declinante. A água de lavagem de filtros é recirculada, após equalização, para o início do tratamento. A água clarificada, no canal de saída dos decantadores, recebe aplicação de cloro, antes das unidades de filtração (além do *breakpoint*). Após a filtração, ocorre uma aplicação complementar de amônia para desinfecção. Como etapa final, adiciona-se o flúor.

### **2.2 Descrição da Estação de Tratamento de Lodo (ETL)**

A Estação de Tratamento de Lodo (ETL) é composta por um tanque de equalização, dois adensadores por gravidade e quatro centrífugas. O tanque de equalização é composto por uma estrutura de concreto semi-enterrada, com volume útil de 500m<sup>3</sup>, dimensões de 10mx10m, com profundidade de 5,0m. Possui um extravasor, dois misturadores submersíveis e duas bombas centrífugas para a transferência de lodo aos adensadores. A capacidade de bombeamento é de 20,0 m<sup>3</sup>/h por conjunto e de 40,0 m<sup>3</sup>/h para operação em paralelo (em condições de máxima rotação, ou seja, 95% da nominal). Esta unidade recebe o lodo das ETAs 3 e 4, drenado por gravidade, tendo a função de equalizar e transferir o mesmo para as etapas

seguintes de adensamento e desaguamento. O adensamento do lodo é realizado por gravidade através de dois tanques circulares e independentes. Eles possuem 15m de diâmetro e 3,5m de profundidade lateral, remoção mecânica de lodo e fundo inclinado. A alimentação do lodo equalizado se dá pela parte superior central e a retirada de lodo adensado, pelo fundo do tanque. O sobrenadante pode ser recirculado até o início do processo de tratamento de água, exceto em épocas de estiagem, quando ocorre um aumento da concentração de poluentes, ou simplesmente direcionado ao rio Atibaia, dependendo de suas características físico-químicas. Após a etapa de adensamento, o lodo é recalcado até as centrífugas, situadas no segundo andar do prédio da ETL. São três do tipo *decanter*, cada qual operando com capacidade de 35,0 m<sup>3</sup>/h de lodo adensado.

### **2.3 Descrição da “Unidade Recicladora de Materiais São Caetano”.**

A Unidade Recicladora de Materiais São Caetano, localizada em Campinas, após o processo de coleta de caçambas de entulhos, faz a triagem inicial dos materiais para posterior processo de trituração. Neste, são separados a madeira, o papelão, os metais, os plásticos e outros rejeitos. Em seguida, o material é classificado pelo seu tamanho em duas parcelas: uma de “solos” e areias, que é usada para cobertura de aterro e outra, de materiais grosseiros, que é triturado, num equipamento com capacidade de 80 t/h. Da trituração, obtém-se agregados de diferentes granulometrias, dependendo da matriz - concreto ou cerâmica - e do tamanho dos grãos. Como produtos, têm-se pedras, pedriscos, britas, areia e pó de pedra.

### **2.4 Caracterização do agregado reciclado miúdo**

Uma amostra de agregado reciclado da Unidade Recicladora de Materiais São Caetano, de aproximadamente uma tonelada, que tinha como origens matrizes misturadas de concreto e cerâmica, foi peneirada antes da fabricação dos tijolos, para garantir diâmetro máximo das partículas de 4,76 mm. O material foi quarteado e coletada uma alíquota para realizar a caracterização.

### **2.5 Caracterização do lodo dos decantadores das ETAs 3 E 4**

Da mesma forma, foram coletadas amostras de lodo dos decantadores na ETL-SANASA. Uma amostra de 20 sacolas de lodo, de aproximadamente 30 kg cada uma, foi desaguada coletada para desaguamento complementar. O material foi quarteado e coletada uma alíquota para realizar a caracterização.

### **2.6 Parâmetros de caracterização**

Para a caracterização do lodo e do agregado reciclado, foram determinados os seguintes parâmetros: limite de liquidez e de plasticidade, granulometria e teor de umidade. Sendo a determinação da granulometria realizada através da norma NBR 7181 (Brasil, 1984). Para a determinação dos limites de liquidez e de plasticidade, utilizou-se o ensaio de Casagrande, realizado segundo o método do DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (Brasil, 1977). O teor de umidade

foi determinado pelo método gravimétrico (APHA; AWWA; WEF, 2000) e também por uma termo balança, modelo IRP-150, marca ArtLab, provida de uma lâmpada de infravermelho. Compararam-se os resultados obtidos com as duas metodologias e como estes estavam bastante próximos, optou-se pelo uso da termo balança.

Como os primeiros ensaios mostraram a influência significativa do teor de umidade do lodo na confecção dos tijolos, decidiu-se fazer um tratamento complementar com leito de secagem para reduzir esta umidade. A Figura 1 mostra o leito de secagem piloto, que foi construído no Laboratório de Resíduos da Unicamp.



**Figura 1-** Vista do leito de secagem da Unicamp.

O leito possuía três camadas: a primeira, de 17 cm de profundidade, foi preenchida com brita tipo 3 (diâmetro superior a 50 mm); a segunda, de 10 cm de profundidade, era constituída de brita tipo 0 (diâmetros de 2,4 a 12,5 mm) e a última, por tijolos maciços e areia fina (granulometria  $> 1/16\text{mm}$  e  $< 1/4\text{ mm}$ ). As dimensões, em planta, do leito de secagem eram 243 cm x 370 cm.

A metodologia adotada para se obter um maior teor de sólidos no lodo desaguado foi a seguinte:

- Após a produção do lodo por centrifugação na ETL, o material ensacado foi transportado até a Unicamp e deixado próximo ao leito;
- Abriram-se os sacos plásticos contendo o lodo e despejou-se, manualmente, todo o material no leito. Uma lona plástica foi deixada ao lado, para proteger o lodo no caso da ocorrência de chuvas;
- Imediatamente após o lançamento do material, coletou-se uma amostra para verificação do teor de umidade;
- Durante duas semanas, em dias alternados, coletaram-se amostras de lodo para determinação do teor de umidade;
- Devido ao fato do lodo não sofrer uma secagem homogênea no leito, revolveu-se o material a cada dois dias, de baixo para cima, da direita para a esquerda e vice-versa, de tal forma que ele permanecesse espalhado uniformemente no leito. Os “torrões” de lodo, formados na superfície do leito à medida que os dias

passavam, foram destorroados com o auxílio de uma pá, para que a secagem do material fosse mais rápida e eficiente;

- Após duas semanas, atingiu-se o teor de umidade desejado no lodo, em torno de 50%. Folhas, insetos ou qualquer outro material estranho encontrado no lodo foram removidos. Remeteu-se o lodo para a fábrica piloto de tijolos, descrita a seguir.

## 2.7 Produção dos tijolos

A produção de tijolos foi feita na fábrica piloto, que consistia em um galpão com área de 120 m<sup>2</sup> para abrigar os equipamentos, um depósito de matéria-prima de 30 m<sup>2</sup>, além de área de circulação externa. Tais equipamentos consistiam de um conjunto de balanças; um conjunto de peneiras; uma máquina destorroadora (para preparar o lodo desaguado antes de ser misturado com o agregado reciclado e com o cimento); uma betoneira e uma prensa manual para fabricação de tijolos (Figuras 2 e 3).



**Figura 2.** Prensa manual para fabricação dos tijolos



**Figura 3.** Formas utilizadas para confecção dos tijolos

A metodologia adotada consistiu em identificar a proporção mais adequada de cimento, lodo e agregado reciclado para fabricação dos tijolos. O procedimento para a preparação das amostras seguiu a NBR 10832 (Brasil, 1989). Na confecção dos tijolos, foram utilizadas as relações mássicas lodo:agregado reciclado:cimento indicadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Proporções lodo:agregado reciclado:cimento avaliadas no estudo

Ensaio No.	Lodo	Agregado	Cimento	Lodo	Agregado	Cimento
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1 - 5	10	85	5	10	80	10
2 - 6	15	80	5	15	75	10
3 - 7	20	75	5	20	70	10
4 - 8	25	70	5	25	65	10

Objetivou-se incorporar ao tijolo a máxima quantidade de lodo, utilizando-se a mínima quantidade de cimento. Foi empregado nos testes o Cimento Portland CP-II.

A umidade ótima, obtida a partir dos testes de PROCTOR, foi inicialmente adotada para a confecção dos tijolos, de modo a se obter a sua máxima compactação.

## 2.8 Ensaaios com os Tijolos Estabilizados com Cimento

Para cada lote de tijolos, 24 unidades / ensaio, foram realizados os seguintes testes:

- Determinação das dimensões, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro (NBR 8491)
- Determinação da absorção de água (NBR 8492).
- Determinação da resistência à compressão (NBR 8492).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização do lodo das ETAs 3 e 4 de Campinas.

Foram obtidas curvas granulométricas nos ensaios realizados com amostras de lodo coletadas em diferentes épocas do ano. A Tabela 4 apresenta um resumo dos dados. Em relação aos Limites de Atterberg, o lodo apresentou-se não-plástico (N.P.), em todas as amostras analisadas, atendendo poder fazer uso dele já que atendeu o requerido na revisão bibliográfica de ter valores < a 18 %. Além disso, a amostra também atendeu o passo pelas peneiras 4 (4,76 mm) num 100 % e na 200 (0,075 mm) num 13,2 % segundo NBR 10832 da ABTN.

**Tabela 4.** Composição granulométrica do lodo das ETAs 3 e 4 de Campinas

Composição granulométrica		Mínimo	Máximo
Pedregulho (%)		0,0	0,0
Areia	grossa (%)	1,8	60,2
	média (%)	12,0	20,7
	finas (%)	4,7	21,8
	TOTAL (%)	30,0	85,3
Silte (%)		14,7	65,6
Argila (%)		0,0	9,8
% do material que passa			
Pela peneira 4 (%)		100,0	100,0
pela peneira 200 (%)		13,2	72,4
Massa específica dos grãos (g/cm³)		2,510	3,180

### 3.2 Agregado reciclado de entulho

Quanto à granulometria, o agregado reciclado apresentou a seguinte composição mostrada na Tabela 5. Podendo concluir que pode ser usado, segundo as características para sua seleção como solo, nesta técnica, segundo NBR 10832 da ABTN.

**Tabela 5.** Composição granulométrica do agregado reciclado de entulho.

Composição Granulométrica	Mínimo	Máximo
---------------------------	--------	--------

Pedregulho Fino (%)		0,0	9,0
Areia	grossa (%)	26,0	34,0
	média (%)	41,0	44,0
	finas (%)	22,0	23,0
	TOTAL (%)	89,0	100,0
Silte (%)		0,0	30,0
Argila (%)		0,0	7,0
<b>% do material que passa</b>			
Pela peneira 4 (%)		100,0	100,0
• Pela peneira 200 (%)		10,0	35,0

### 3.3 Produção dos tijolos: Ensaio de PROCTOR

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos com o ensaio de PROCTOR. Deve se considerar que na mistura dos materiais para fabricação, esta umidade não pode transpassar estes resultados, já que fariam modificações tanto na moldagem dos corpos como no tempo de secado.

**Tabela 6.** Ensaio de PROCTOR com a mistura lodo:agregado:cimento

<b>Índice de Suporte de Califórnia/ Umidade Ótima de Compactação</b>		
Teor de Cimento = 5%		
Proporção lodo:agregado (%)		Umidade Ótima (%)
Lodo	Agregado	
10	85	11,8
15	80	12,0
20	75	13,5
25	70	13,6

#### 3.3.1 Características Físicas e Mecânicas Dos Tijolos

As Tabelas 7 e 8 mostram os resultados obtidos na confecção dos tijolos com lodo desaguado da ETL (70 a 80% de umidade).

Pode se observar que o teor de umidade de 75 a 80%, em todos os casos avaliados, não permitiu a moldagem já que o lodo estava muito úmido.

Nos valores do teor de umidade de 70 a 74%, em todos os casos avaliados, foi possível a moldagem, mas teve-se desagregação após desmoldagem já que o lodo estava muito úmido para seu manejo.

Para obter melhores resultados do teor de umidade do lodo desaguado da ETL, este foi submetido ao tratamento complementar com leito de secagem ao longo do tempo.

Na Figura 4 são mostradas as perdas de umidade do lodo no leito de secagem ao longo do tempo onde pode-se verificar o ótimo desempenho do leito, alcançando um teor de umidade em torno de 50% no final de sete dias.

Alem disso, foram avaliados os resultados para tijolos com lodo totalmente desidratado, secado na estufa, o qual inicialmente foi desaguado da ETL.

As Tabelas 9 e 10 mostram os resultados obtidos com os tijolos confeccionados com o lodo seco em leite e desidratado na estufa, respectivamente.

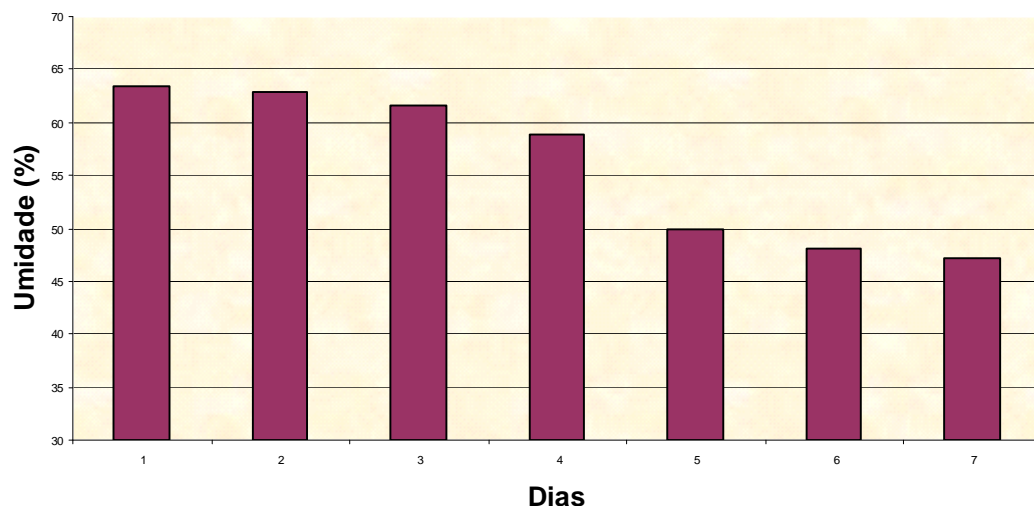
Nestes tijolos foi possível a moldagem dos corpos, mas teve-se perda do material da superfície dele por atrito na retirada do equipamento.

**Tabela 7.** Resultados obtidos na produção de tijolos com lodo desaguado da ETL contendo teor de umidade de 75 a 80%

Teor de Umidade do Lodo = 75 a 80%					
Teor de Cimento = 5%			Teor de Cimento = 10%		
Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado	Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado
10	85	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido	10	80	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido
15	80	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido	15	75	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido
20	75	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido	20	70	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido
25	70	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido	25	65	Não foi possível a moldagem - lodo muito úmido

**Tabela 8.** Resultados obtidos na produção de tijolos com lodo desaguado da ETL contendo teor de umidade de 70 a 74%

Teor de Umidade do Lodo = 70 a 74%					
Teor de Cimento = 5%			Teor de Cimento = 10%		
Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado	Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado
10	85	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma	10	80	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma
15	80	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma	15	75	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma
20	75	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma	20	70	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma
25	70	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma	25	65	Possível a moldagem, mas desagregação após desforma



**Figura 4.** Perda de umidade do lodo no leito de secagem ao longo do tempo

**Tabela 9 – Resultados obtidos na produção de tijolos com o lodo desaguado no leito de secagem**

Teor de Umidade de Lodo = 50%		
Teor de Cimento = 10%		
Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado
10	85	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
15	80	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
20	75	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
25	70	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito

**Tabela 10 – Resultados obtidos na produção de tijolos com o lodo desidratado na estufa**

Teor de Umidade de Lodo = 0%		
Teor de Cimento = 10%		
Lodo (%)	Agregado (%)	Resultado
10	85	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
15	80	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
20	75	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito
25	70	Possível a moldagem, mas perda do material da superfície do tijolo por atrito



### 3.3.2 Dimensões, Absorção de Água e Resistência à Compressão dos tijolos confeccionados com o lodo totalmente seco

Considerando os anteriores resultados da moldagem e da retirada dos corpos do equipamento, se avaliaram unicamente aqueles feitos com lodo da ETL, totalmente seco, no submetimento ao tratamento com leite de secagem e na estufa.

Os valores obtidos nos ensaios de dimensões, absorção de água e resistência à compressão estão indicados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Podemos concluir que de acordo com a norma NBR 8491 (Brasil, 1984), somente podem ser aceitos, no que reverencia a dimensões, os tijolos confeccionados com 15, 20 e 25% e 10% de cimento.

Para a absorção de água, segundo a Norma NBR 8492 (Brasil, 1984), apenas os tijolos confeccionados com 10, 15, 20 e 25 % de lodo totalmente seco e 10% de cimento atendem os limites.

Com relação à resistência à compressão, as amostras foram ensaiadas de acordo a NBR 8492 (Brasil, 1984), que estipula que os valores médios devem ser superiores a 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) e nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7 MPa (17 Kgf/cm<sup>2</sup>) para tijolos com idade mínima de sete dias. No presente trabalho, a idade mínima adotada foi de 21 dias (tempo de cura). Verifica-se que os tijolos com percentuais de 10, 15, 20 e 25% de lodo totalmente seco não atendem os limites da norma.

**Tabela 11** - Dimensões dos tijolos confeccionados com o lodo da ETL após secagem em leite e em estufa.

Amostra	Lodo (%)	Teor Umidade do lodo (%)	Cimento %	Dimensões (cm)			Volume (cm <sup>3</sup> )	%
1	10	50	10	22,7	11,0	5,7	1423	94
2	10	50	10	22,5	10,9	5,5	1349	89
3	10	50	10	22,5	10,7	5,0	1204	79
Média				22,6	10,9	5,4	1324	87
4	15	50	10	22,7	10,7	5,5	1336	88
5	15	50	10	22,5	10,8	5,8	1409	93
6	15	50	10	22,8	10,9	5,3	1317	87
Média				22,7	10,8	5,5	1355	89
7	20	50	10	22,5	10,9	5,8	1422	94
8	20	50	10	22,5	10,8	5,3	1288	85
9	20	50	10	22,5	10,9	5,8	1422	94
Média				22,5	10,9	5,6	1377	91
10	25	50	10	22,4	10,9	5,7	1392	92
11	25	50	10	22,5	10,6	5,5	1312	86
12	25	50	10	22,2	10,6	5,8	1365	90

<b>Média</b>				<b>22,4</b>	<b>10,7</b>	<b>5,7</b>	<b>1356</b>	<b>89</b>
<b>13</b>	10	0	10	22,2	10,8	5,8	1391	92
<b>14</b>	10	0	10	22,8	10,6	5,8	1402	92
<b>15</b>	10	0	10	22,6	10,8	5,5	1342	88
<b>Média</b>				<b>22,5</b>	<b>10,7</b>	<b>5,7</b>	<b>1379</b>	<b>91</b>
<b>16</b>	15	0	10	22,8	10,9	5,9	1466	97
<b>17</b>	15	0	10	22,8	10,9	5,8	1441	95
<b>18</b>	15	0	10	23,0	10,9	5,9	1479	97
<b>Média</b>				<b>22,9</b>	<b>10,9</b>	<b>5,9</b>	<b>1462</b>	<b>96</b>
<b>19</b>	20	0	10	23,0	11,0	5,8	1467	97
<b>20</b>	20	0	10	23,0	11,0	6,0	1518	100
<b>21</b>	20	0	10	23,0	11,0	6,0	1518	100
<b>Média</b>				<b>23,0</b>	<b>11,0</b>	<b>5,9</b>	<b>1501</b>	<b>99</b>
<b>22</b>	25	0	10	23,0	11,0	6,0	1518	100
<b>23</b>	25	0	10	23,0	11,0	6,0	1518	100
<b>24</b>	25	0	10	23,0	11,0	6,0	1518	100
<b>Média</b>				<b>23,0</b>	<b>11,0</b>	<b>6,0</b>	<b>1518</b>	<b>100</b>

**Tabela 12 – Absorção de água dos tijolos confeccionados com o lodo desaguado em leito de secagem e totalmente seco.**

<b>Amostra</b>	<b>Lodo (%)</b>	<b>Umidade Teor (%)</b>	<b>Cimento %</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso Saturado (g)</b>	<b>Absorção %</b>
<b>1</b>	10	50	10	2003	1830	2288	25,0
<b>2</b>	10	50	10	2210	2096	2495	19,0
<b>3</b>	10	50	10	2100	1993	2468	23,8
<b>Média</b>				<b>2104</b>	<b>1973</b>	<b>2417</b>	<b>22,5</b>
<b>4</b>	15	50	10	2164	2051	2467	20,3
<b>5</b>	15	50	10	2124	2012	2421	20,3
<b>6</b>	15	50	10	2123	2014	2417	20,0
<b>Média</b>				<b>2137</b>	<b>2026</b>	<b>2435</b>	<b>20,2</b>
<b>7</b>	20	50	10	2345	2231	2673	19,8
<b>8</b>	20	50	10	2033	1938	2318	19,6
<b>9</b>	20	50	10	2184	2071	2490	20,2
<b>Média</b>				<b>2187</b>	<b>2080</b>	<b>2494</b>	<b>19,9</b>
<b>10</b>	25	50	10	2381	2260	2715	20,1
<b>11</b>	25	50	10	2071	1962	2301	17,3
<b>12</b>	25	50	10	2211	2111	2489	17,9
<b>Média</b>				<b>2221</b>	<b>2111</b>	<b>2502</b>	<b>18,5</b>
<b>13</b>	10	0	10	2147	2045	2401	17,4
<b>14</b>	10	0	10	2077	1972	2312	17,2
<b>15</b>	10	0	10	1997	1854	2214	19,4
<b>Média</b>				<b>2074</b>	<b>1957</b>	<b>2309</b>	<b>18,0</b>
<b>16</b>	15	0	10	2340	2212	2546	15,1
<b>17</b>	15	0	10	2182	2070	2385	15,2
<b>18</b>	15	0	10	2606	2471	2846	15,2
<b>Média</b>				<b>2376</b>	<b>2251</b>	<b>2592</b>	<b>15,2</b>
<b>19</b>	20	0	10	2543	2403	2798	16,4

<b>20</b>	20	0	10	2293	2170	2486	14,6
<b>21</b>	20	0	10	2500	2372	2750	15,9
<b>Média</b>				<b>2445</b>	<b>2315</b>	<b>2678</b>	<b>15,7</b>
<b>22</b>	25	0	10	2667	2530	2897	14,5
<b>23</b>	25	0	10	2640	2499	2895	15,8
<b>24</b>	25	0	10	2314	2186	2558	17,0
<b>Média</b>				<b>2540</b>	<b>2405</b>	<b>2783</b>	<b>15,7</b>

**Tabela 13** - Resistência à Compressão dos tijolos confeccionados com lodo totalmente seco e que atenderam os limites estipulados para dimensões e absorção de água

Amostra	Lodo %	Umidade Teor (%)	Cimento (%)	Força (Kgf)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resist. (MPa)	Resist. (Kgf/cm <sup>2</sup> )
16	15	0	10	1480	121	1,2	12,2
17	15	0	10	1420	121	1,2	11,7
18	15	0	10	1490	121	1,2	12,3
Média				1463	121	1,2	12,1
19	20	0	10	1408	121	1,2	11,6
20	20	0	10	1320	121	1,1	10,9
21	20	0	10	1545	121	1,3	12,8
Média				1424	121	1,2	11,8
22	25	0	10	1088	121	0,9	9,0
23	25	0	10	1500	121	1,2	12,4
24	25	0	10	1680	121	1,4	13,9
Média				1423	121	1,2	11,8

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos até o momento, pode-se concluir que:

- Quanto a granulometria e limites de Atterberg, o lodo estudado apresentou características favoráveis à sua utilização para confecção de tijolos tipo solo-cimento.
- A umidade do lodo das ETAs 3 e 4 de Campinas influenciou significativamente na produção dos tijolos estabilizados com cimento.
- Foi possível moldar tijolos a partir da mistura lodo:agregado reciclado:cimento, quando este último material apresentou teor de umidade menor que 50%, mostrando a necessidade de uma secagem complementar de lodo para esta aplicação.
- Nenhum tijolo produzido com a mistura de lodo, agregado e cimento atendeu as normas brasileiras de qualidade estrutural - dimensões, absorção de água e resistência à compressão.
- Deve-se continuar uma pesquisa avaliando o contexto: amanhã temos a possibilidade de ter os tijolos produzidos com os resíduos hoje convertidos em entulho. Visando características de material inerte?

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND.(1988) Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização com a utilização de prensas manuais: prática recomendada. São Paulo. SP. 8p.
- [2] ÂNGULO, S C; ZORDAN, S E & JOHN, V M.(2000) Desenvolvimento sustentável e reciclagem de resíduos na construção civil. PCC -

Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- [3] AWWA, (2001). Commercial application and marketing of water plant residuals – subject área: water treatment.
- [4] BARBOSA, R. M.( 2001) et al. A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água: à *Daphnia similis* (cladocera, crustácea). XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre. RS.
- [5] BRASIL. NBR 7182 (1984). - Solo - Ensaio normal de compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- [6] BRASIL. NBR 8491 (1984)- Cimento - Tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- [7] BRASIL. NBR 8492 (1989)-Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1984. BRASIL. NBR 10.832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual: procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- [8] BRASIL. NBR 10004 (2004) - Resíduos sólidos: classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- [9] BRASIL. NBR 10.832 (1989) - Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual: procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- [10] BRITO, J.A. (1999): Cidade versus entulho. In: II SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), p.56-67.
- [11] CASSA, J.C.; CARNEIRO, A.P. & SCHADACH, I. A. (2001):Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. Projeto Entulho Bom. Salvador, EDUFBA; Caixa Econômica Federal, Salvador, BA.
- [12] CEF – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL.(2001) Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção. CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S. de e CASSA, J.C.S. EDUFBA – Editora Universidade Federal da Bahia. Salvador. BA. 312 p.
- [13] CEPED – CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO (1984). Manual de construção com solo-cimento. São Paulo. SP. 3 ed. 147p.

- [14] CHAO, I. R. (2006) Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica, USP, SP.
- [15] CHAVEZ, Á.(2002): Tratamento de efluente têxtil e lodo gerado em um sistema de lodos ativados por batelada com adição de carvão ativado em pó. Dissertação de mestrado, UNICAMP, SP.
- [16] CYBIS, L. F. & DOS SANTOS, C. V. J.(2001): Aplicação das técnicas de produção mais limpas na indústria da construção civil - estudo de caso, XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- [17] CORDEIRO, J.S.( 1999) Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água, PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). São Paulo. SP.
- [18] CEPED – CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO (1984). Manual de construção com solo-cimento. São Paulo. SP. 3 ed. 147p.
- [19] DI BERNARDO, L. (1999) Disposição de resíduos líquidos de ETAs em ETEs. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água, Marco Antônio Penalva Reali (coord). ABES.
- [20] DIJKEMA, G.P.J.; REUTR,M.A.; VERHOEF,E.V.(2000): A new paradigm for waste management, Waste Management, 20 (8): 633 – 368.
- [21] GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P. & GARCIA JR., A. D. (1993) Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água. In: XII Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, Natal.
- [22] IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2007) Disponível: <http://www.ibge.gov.br>, março.
- [23] ISAAC, R.L. Caracterização, tratamento e disposição final de lodo de ETA (2000). Curso Extensão Faculdade de Engenharia Civil – Unicamp. Campinas. SP. 2001.
- [24] JOHN, V M & AGOPYAN, V. (2000.) Reciclagem de resíduos da construção. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da USP (PCC USP).
- [25] MORITA, D.M.; SAMPAIO, A.O.; MIKI, M.K. e DAVID, A.C.(2002) Incorporação de Lodos de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos. In: X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, SILUBESA, Anais (CD-Rom), pp.1-15. Braga. PORTIGAL. 15-1.

- [26] NUNES, M.S; SARTORI, H.J.F. Caracterização Geotécnica de Lodos Provenientes de Estações de Tratamento de Água e de Esgotos Sanitários. XIX Congresso ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu. PR.
- [27] ONU (1987) - Organização das Nações Unidas; Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Nosso futuro comum ou relatório Brundtland.
- [28] PINTO, T. P.( 1995): De volta à questão do desperdício. Construção. São Paulo:Pini, n. 2491, p.18-19, nov.
- [29] PINTO, T.P.(1997): Resultados da gestão diferenciada. Técnica, n.31, P 31-34, nov/dez.
- [30] REALI, M.A.P. (1999) Espessamento de lodos de ETAs. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de água, Marco Antônio Penalva Reali (coord.), Rio de Janeiro, ABES.
- [31] RICHTER, C.A. (2001): Tratamento de lodos de estações de tratamento de água, São Paulo, SP.
- [32] RICHTER, C.A.( Acesso em 16/02/2007). Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo. SP. 2001.
- [33] SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. E-mail Gerência ETA's 3 e 4 Sousas.
- [34] SARON, A. & LEITE, V.M.B.(2001): Quantificação de lodo em estação de tratamento de água. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, Brasil.
- [35] WU, C.C. & HUANG, C.(1997):Effects if recycling-sludge operation on the structure and moisture cont of floc in water treatment plant. Separation Science and Technology, v 32, No 17, p. 2873 – 2882.
- [36] YUZHU, W.( 1996): Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 419 p.
- [37] ZORDAN, S(1997). A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP.