ADIÇÃO DE LODO DE ESGOTO DA E.T.E. DO MUNICÍPIO DE JAGUARIÚNA EM TIJOLOS CERÂMICOS: ESTUDO DE VIABILIDADE

Addition of sewage sludge from effluent treatment plant of Jaguariúna city on ceramic bricks: feasibility study

PIRES, Gilson Teixeira

GERALDO, Rodrigo Henrique

ZECHINATTI, Vitor Hugo

Alunos da Faculdade de Jaguariúna

GONÇALVES, Renata Ribeiro do Valle

GOMES, Marco Antônio Ferreira

VALENTE, Angela Maria Montes Peral

Professores Orientadores

Resumo

A Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.) gera em sua operação um resíduo rico em nutrientes e matéria orgânica com alto potencial de contaminação ambiental denominado lodo de esgoto. Em sua maioria, as E.T.E.s não contemplam a destinação final desse resíduo, anulando-se parte dos benefícios gerados pelo tratamento. A incorporação desse material em produtos cerâmicos têm se mostrado uma alternativa viável de destinação correta. O presente trabalho estudou essa viabilidade no caso específico da E.T.E. Camanducaia, localizada no município de Jaguariúna/SP, tendo como objetivo incorporar o lodo de esgoto em tijolos cerâmicos, servindo como um ponto de referência para estudos mais aprofundados. Na fabricação de corpos-de-prova, foram analisadas dosagens de 10%, 20% e 30% de adição de lodo. Após os testes de absorção de água, umidade de extrusão, retração e resistência, verificou-se que com a maior dosagem de lodo houve uma maior

conformidade com as normas técnicas pertinentes, concluindo que tal aplicação é uma forma sustentável de destinação desse resíduo.

Palavras-chave: Materiais cerâmicos; meio ambiente; resíduo.

Abstract

The sewage treatment plant (S.T.P.) produces in its operation a rich residue in nutrients and organic material with a high environmental contamination potential called sewage sludge. In its majority, the S.T.P.s do not have programs for a correct destination of this residue, losing part of the benefits of the treatment. The incorporation of this material in ceramic products has been shown as a feasible option of correct destination. This work studied this feasibility in the specific case of S.T.P Camanducaia, located in the Jaguariúna city - SP, aiming to incorporate the sewage sludge in ceramic bricks, serving as a reference point to more complex studies. In the manufacture of ceramic bricks, it was analyzed concentrations of 10%, 20% and 30% of sludge addition. After the tests of water absorption, extrusion humidity, retraction and resistance where the highest concentration showed a greater conformity with the pertinent technical rules, concluding that this application is a sustainable applying of this residue.

Key-words: Ceramic materials; environmental; residue.

Introdução

A água, elemento essencial para a vida, trata-se de um recurso cada vez mais ameaçado. Estima-se que aproximadamente doze milhões de pessoas morram anualmente por problemas relacionados à qualidade de água (MERTEN, 2002). Para tal, torna-se indispensável o investimento em sistemas de esgotamento sanitário, havendo a necessidade de funcionamento de estações de tratamento a fim de proporcionar melhorias para o ser humano.

Porém, os resíduos metabólicos do homem não se desintegram com esse tratamento, gerando assim uma grande quantidade de resíduos denominado lodo (BETTIOL, 2006).

Lodo de esgoto é definido como o resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário, constituindo-se de uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes com alto potencial de riscos à saúde pública, ao ambiente e à proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos (Resolução CONAMA 375/2006).

Até a década de 60 a disposição final do lodo resultante de sistemas de tratamento de efluentes era feita em aterros sanitários, mas devido ao aumento na geração deste resíduo, tal alternativa passou a ser ineficaz do ponto de vista físico e ambiental (AZUMA, 1973 apud GEYER 2001).

Globalmente, têm-se aplicado diferentes métodos de reaproveitamento deste material, variando conforme as características intrínsecas de cada caso. O Quadro 1 apresenta os principais meios de destinação do lodo em países de realidades distintas.

Quadro 1: Principais métodos de disposição em diferentes países (CHANG et al., 2001; GEYER, 2001).

País	Método de disposição (como % do total produzido)			
	Aterros	Agricultura	Incineração	Outros
França[(1)]	50	50	0	0
Alemanha[(1)]	25	63	12	0
Itália[(1)]	34	55	11	0
Portugal[(1)]	80	13	0	7
Espanha[(1)]	10	50	10	30
Japão[(2)]	6	14	80	0
EUA[(2)]	30	20	30	20
Brasil[(2)]	80	5	0	15

Fonte: (1) Chang *et al.*, 2001; (2) Geyer, 2001

Dentre as alternativas de reaproveitamento do lodo, uma técnica viável é a utilização desse resíduo como adubo orgânico, no qual as plantas aproveitariam, principalmente, o nitrogênio nele contido, um nutriente essencial

e de elevado valor econômico (BOEIRA, 2004). Além do fornecimento de nutrientes para as plantas, fornece benefícios como o aumento do teor de alguns micronutrientes essenciais (especialmente Zn, Cu, Mn e Mo), o aumento da capacidade de retenção de água e uma melhor estruturação do solo pela presença de matéria orgânica (DAMASCENO, 2000). Do ponto de vista econômico a utilização de lodo de esgoto sanitário na agricultura parece ser a opção mais vantajosa (KORENTAJER, 1991 apud DAMASCENO, 2000).

Porém, esta aplicação depara-se com diversos fatores limitantes. Presença de organismos patogênicos, compostos orgânicos tóxicos e contaminação das águas superficiais por nitratos são problemas que podem acontecer em decorrência deste uso. Além desses, o lodo pode apresentar em sua composição metais pesados, que uma vez absorvido pela planta entram na cadeia alimentar, podendo passar aos animais e por fim aos seres humanos (DAMASCENO, 2000).

> *Pela composição rica em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, o lodo de esgoto tem sido fortemente sugerido para a aplicação na agricultura como condicionador e fertilizante do solo (...). Entretanto, como o lodo contém elevadas concentrações de contaminantes, essa prática pode resultar em adição direta de patógenos diversos e substâncias químicas não desejadas no solo agriculturável e conseqüentemente na cadeia alimentar. Outro fator de preocupação é a composição variável do lodo nas diferentes regiões e épocas do ano, dificultando o monitoramento dos contaminantes. (SAITO, 2007, p.8).*

Devido a possibilidade da indústria cerâmica em aceitar novos materiais em sua composição como componentes na matéria-prima, uma das alternativas promissoras de disposição correta desse material é a incorporação em materiais cerâmicos (ARAÚJO, 2008).

A indústria cerâmica é um setor de extrema importância econômica para o Brasil. Estima-se que tenha um faturamento médio de 4,2 bilhões de reais e é responsável pela geração de 214 mil empregos diretos com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondendo a cerca de 6 bilhões de dólares (ABCERAM, 2003). Além disso, a construção civil no país tem aumentado consideravelmente, sendo um dos principais motores do setor

industrial (JUNIOR, 2011). No primeiro trimestre de 2010, a construção civil teve um dos maiores crescimentos da história, crescendo 14,9% comparado ao mesmo período do ano anterior (IBGE, 2010). Tais dados mostram um cenário favorável do ponto de vista econômico para a incorporação do lodo em tijolos cerâmicos.

> *O desenvolvimento de um trabalho que verifique a possibilidade de utilização do lodo como matéria prima alternativa na indústria cerâmica é uma pesquisa plausível devido aos resultados de pesquisas anteriores com a reutilização do lodo em materiais de construção ter sido satisfatórios [...]. O uso de lodos procedentes de ETE como matéria prima cerâmica pode ser uma alternativa viável, tanto econômica como técnica, reduzindo custos ambientais relacionados com a disposição final desses materiais. Além disso, as operações inerentes à indústria cerâmica (fornos com altas temperaturas) fazem com que os riscos sanitários se reduzam ao mínimo (INGUNZA, 2008, p. 2).*

Não existe uma composição de lodo ideal a ser adicionada à massa para produção de cerâmica vermelha. Tal quantidade varia de acordo com os elementos presentes na argila e no lodo, podendo estes interferir na qualidade do produto cerâmico. Do ponto de vista ambiental, a disposição de lodo em cerâmica vermelha trata-se de uma destinação final correta e viável deste resíduo (ARAÚJO, 2008).

Os resultados obtidos sobre os tijolos maciços fabricados com lodo proveniente da região de Goianinha, no estado de Rio Grande do Norte, apresentaram uma dosagem máxima de 20% que pode ser incorporada à massa cerâmica atendendo simultaneamente aos requisitos técnicos e ambientais, sendo que em dosagens mais baixas e acima desse percentual, o material final apresentou problemas como perda de resistência, perda significativa da massa, fissuras, cantos frágeis e falhas nas arestas. Em nenhuma das amostras houve qualquer tipo de alteração no odor dos tijolos (DUARTE, 2008).

Contemplado com o processo de tratamento de esgoto desde 2004 o município de Jaguariúna-SP trata atualmente cerca de 1.500 m³/dia, o que corresponde a 45% do esgoto domiciliar do município.

Localizado na Região Metropolitana de Campinas, a 22º42'20" de latitude sul e 46º59'09" de longitude oeste, a uma altitude de 584 metros e possuindo cerca de 43.462 habitantes (estimativa IBGE/2010), o município de Jaguariúna encontra-se em pleno desenvolvimento industrial e tecnológico, o que atrai cada vez mais novos moradores, principalmente em busca de emprego e oportunidades, consequentemente a produção de resíduos sólidos urbanos no município tem aumentado consideravelmente.

O sistema de tratamento gera por dia cerca de 3.000 kg de lodo desaguado, que é obtido após o processo de centrifugação. Essa quantidade varia de acordo com a carga orgânica recebida pelo processo, além de outros fatores como produtos químicos despejados sem tratamento adequado, temperatura e índice pluviométrico. Atualmente o reaproveitamento do lodo ainda não é contemplado no município, sendo que sua destinação final é em um aterro sanitário.

O presente trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade da incorporação do lodo de esgoto em tijolo cerâmico, proporcionando um ponto de partida para estudos mais complexos, buscando assim, formas alternativas e viáveis para a problemática do lodo de estações de tratamento de esgoto no Brasil.

Material e Métodos

Como o lodo é um resíduo de alta periculosidade devido a inúmeros organismos patogênicos, foi feito um requerimento formal mediante a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Jaguariúna, solicitando a retirada de aproximadamente 60 Kg desse material, ao qual firmou-se o compromisso da sua utilização apenas para fins experimentais, bem como o uso de E.P.I.s (equipamentos de proteção individual) para um manuseio seguro.

O lodo foi coletado no dia 28 de abril de 2011 na E.T.E. Camanducaia e acondicionado em sacos plásticos, logo encaminhados na olaria local onde se deu continuidade ao experimento.

 ISSN 1679-8902

As Figuras 1A e 1B apresentam a Estação de Tratamento de Efluentes Camanducaia, no município de Jaguariúna (unidade geradora do lodo usado no experimento).



A B

Figura 1: Tanques aeróbicos da E.T.E. Camanducaia (A); Vista da E.T.E. Municipal (B).

As Figuras 2A e 2B mostram, respectivamente, o local de armazenamento do lodo dentro da E.T.E. e a retirada de amostras do material para o uso no presente trabalho.



A B

Figura 2: Caçamba de armazenamento de lodo (A); Retirada de lodo para utilização no experimento (B).

Junto com o lodo, utilizou-se argila “taguá”, caracterizada por ser um material plástico com alto teor de óxido de ferro. A mistura de lodo com a argila ocorreu de forma manual em quatro tipos de amostras em um local devidamente apropriado (sem risco de ação de intempéries, bem como danos à

saúde dos trabalhadores da empresa) nas dependências da olaria. Separaram-se amostras com quantidades de 10%, 20% e 30% de lodo adicionado (Figuras 3A, 3B, 4A e 4B).



A B

Figura 3: Amostra com 90% de argila e 10% de lodo (A); Amostra com 80% de argila e 20% de lodo (B).



A B

Figura 4: Amostra com 70% de argila e 30% de lodo (A); Vista das três amostras com lodo adicionado a argila (B).

A mistura do lodo com a argila foi feita manualmente, a fim de obter-se um produto final homogêneo. Com o material já adequado e utilizando-se de formas apropriadas (Figura 5A), foram moldados tijolos cerâmicos de caráter demonstrativo seguindo o formato padrão usado pela construção civil (Figura 5B).

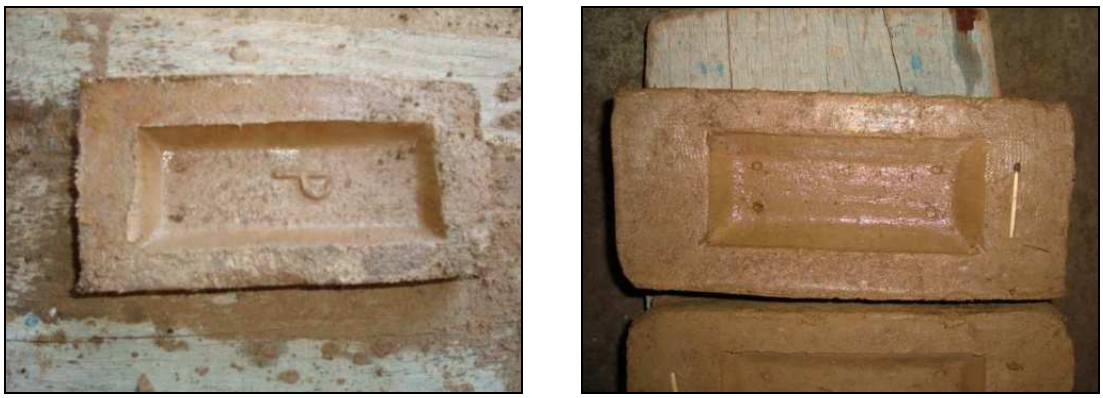
 ISSN 1679-8902



A B

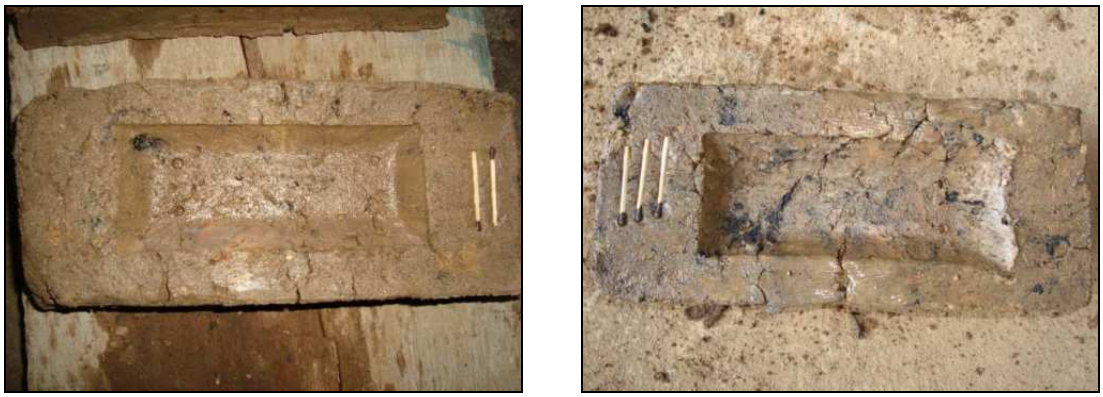
Figura 5: Formas de tijolos utilizadas (A); Processo de fabricação (B).

As Figuras 6A, 6B, 7A e 7B mostram respectivamente exemplares de tijolo sem lodo adicionado e com 10%, 20% e 30% de lodo adicionado a argila cerâmica. Observa-se o detalhe da marcação para identificação após a queima com o uso de palitos de fósforo.



A B

Figura 6: Tijolo sem adição de lodo (A); Tijolo com 10% de lodo adicionado (B).



A B

Figura 7: Tijolo com 20% de lodo adicionado (A); Tijolo com 30% de lodo adicionado (B).

Coletou-se um exemplar de cada uma das amostras com lodo adicionado para ensaios laboratoriais, cujos resultados obtidos servirão de base para aferir a qualidade do tijolo final.

Primeiramente, destorrou-se o material com o auxílio de um almofariz para então adicionar-se água (Figura 8A) necessária para a aquisição da plasticidade adequada para a modelagem e produção dos corpos-de-prova (Figura 8B).



A B

Figura 8: Adição de água à massa (A); Corpos-de-prova produzidos e identificados (B).

No laboratório da Faculdade de Jaguariúna, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa (Figura 9A) com temperatura de 80°C, permanecendo por um período de duas horas. Após esse processo, os corpos-de-prova foram medidos com um paquímetro e pesados (Figura 9B).



A B

Figura 9: Detalhe da estufa utilizada (A); Pesagem dos corpos-de-prova (B).

Os resultados obtidos foram utilizados em cálculos de umidade e retração de secagem e de queima. Para o cálculo da umidade de extrusão de secagem utilizou-se da Equação 1.

Equação 1: Fórmula para cálculo da umidade de extrusão de secagem.

$$\% \text{ Umidade de extrusão} = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$$

Sendo:

Pi= Peso inicial úmido (gramas)

Pf = Peso final seco (gramas)

Para aferir a retração de secagem utilizou-se da Equação 2.

Equação 2: Fórmula para cálculo da retração de secagem.

$$\% \text{ Retração da secagem} = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Sendo:

Ci = Comprimento inicial (mm)

Cf = Comprimento final seco (mm)

Os corpos-de-prova foram queimados a uma temperatura de aproximadamente 900ºC durante vinte e oito horas. Posteriormente, mediu-se a retração após a queima utilizando-se a mesma equação da retração de secagem, ao qual adotou-se *Cf* como comprimento final do material queimado e, por fim, realizou-se o teste de absorção de água do material, aonde estes

foram fervidos em fogo alto durante um período total de duas horas, sendo então pesados e os dados utilizados conforme mostrado na Equação 3.

Equação 3: Fórmula para cálculo da absorção de água.

$$\% \text{ Absorção de água} = \frac{Pq - Pf}{Pf} \times 100$$

Sendo:

Pq = Peso final queimado

Pf = Peso final fervido

A fim de comparar os resultados finais, consultou-se na literatura existente as características usuais da argila utilizada no experimento conforme apresentado da Tabela 1.

Tabela 1: Característica usual da argila "taguá" no estado de São Paulo (VIEIRA, 2001).

Umidade de extrusão de secagem (%)	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)
28,0	6,0	5,1	7,0

Resultados e Discussões

Por meio dos cálculos de umidade de extrusão, retração de secagem e queima e absorção de água aplicados à quantidade dos seis corpos-de-prova de cada dosagem diferente de lodo, obteve-se os resultados de média e desvio padrão apresentados na Tabela 2.

 ISSN 1679-8902

Tabela 2: Resultados finais (média e desvio padrão) dos corpos-de-prova com lodo adicionado.

Quantidade de lodo adicionado (%)	Umidade de extrusão de secagem (%)	Retração de secagem (%)	Retração de queima (%)	Absorção de água (%)
10	26,93 ± 0,55	8,35 ± 0,61	10	17,04 ± 1,18
20	31,73 ± 0,64	10,56 ± 0,83	12	23,31 ± 1,70
30	27,86 ± 0,74	6,78 ± 0,71	9	24,13 ± 0,38

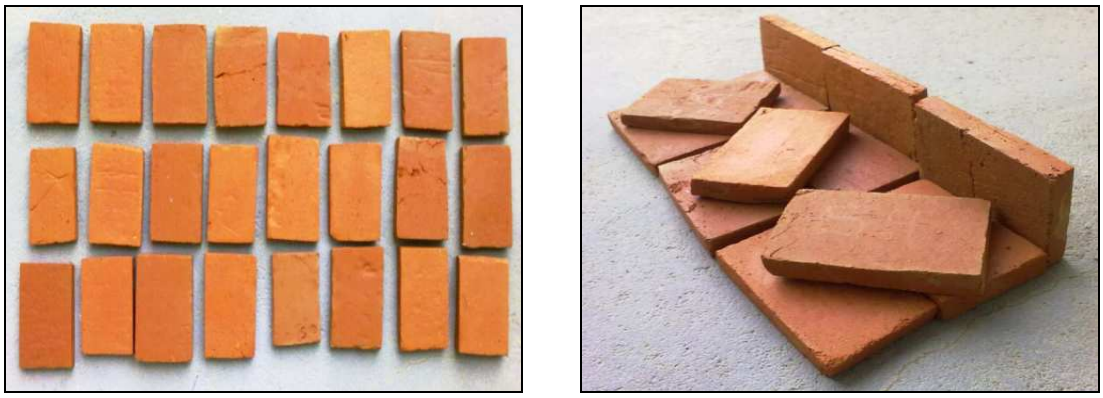
Os resultados mostraram que com a dosagem de 20% de lodo ocorreu a maior umidade de extrusão de secagem, representando que este perdeu mais água durante o processo. As amostras com 30% ficaram mais próximas das características usuais da massa cerâmica fabricada com argila “taguá”.

Em relação a retração de secagem e de queima, as amostras com 30% de lodo adicionado novamente mostraram uma menor diferença em comparação as qualidades apresentadas na Tabela 1. Os corpos-de-prova tiveram uma retração menor, sendo melhor do ponto de vista técnico, já que retrações elevadas, como pode ser observado nos resultados com as amostras de 20%, apresentaram dificuldades no processo de fabricação.

A porcentagem de absorção de água esteve diretamente ligada à adição de lodo de esgoto, ou seja, quanto maior a dosagem de lodo, maior foi a absorção de água dos corpos-de-prova, porém, permanecendo dentro de uma faixa aceitável para tijolos cerâmicos.

Tratando-se de um trabalho de graduação, o tempo limitado impossibilitou o uso de um laboratório especializado para testes de resistência com resultados mais precisos, entretanto, através de testes manuais (aplicação de força) os corpos-de-prova com 30% de lodo apresentaram boa resistência.

Os corpos-de-prova finais obtidos são mostrados conforme as Figuras 10A e 10B.



A B

Figura 10: Corpos-de-prova finais (A); Detalhe dos corpos-de-prova finais (B).

Considerações Finais

Destinar corretamente o lodo proveniente das E.T.E.s ainda é uma prática pouco comum em nosso país, o que acaba por anular parte dos efeitos benéficos gerados no processo de tratamento de esgoto.

O estudo da viabilidade da aplicação deste resíduo em materiais cerâmicos apresenta-se como uma proposta sustentável de disposição final. O desenvolvimento de um trabalho que possibilite uma alternativa ambientalmente correta e ainda agregue valor econômico a este resíduo mostra-se altamente promissor em um mundo onde cada vez mais E.T.E.s têm que funcionar a fim de garantir a qualidade de vida oferecida pelos serviços de saneamento básico.

No caso específico da E.T.E. Camanducaia, conclui-se que a aplicação do lodo de esgoto em tijolos cerâmicos é uma possibilidade viável de destinação correta deste resíduo.

Analisando os corpos-de-prova, pode-se observar que houve eliminação do odor característico do lodo. A coloração variou de acordo com a porcentagem de lodo incorporado, porém, permanecendo próxima da cor habitual. A dosagem máxima testada (30%) apresentou os resultados mais próximos dos recomendados pelas normas técnicas.

Recomenda-se que testes mais aprofundados sejam realizados no material final a fim da obtenção de dados mais precisos, além da verificação de resultados com diferentes dosagens de lodo e temperaturas de queima. Tais testes proporcionarão um maior conhecimento sobre o produto final, permitindo apresentar a melhor alternativa. Também se considera necessário avaliar possíveis efeitos a longo prazo, isto é, se futuramente ocorrerá a lixiviação/solubilização de elementos químicos presentes em sua composição, uma vez indispensável para a aprovação do uso comercial pelo órgão ambiental competente.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, F. S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de massa vermelha**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Centro de Ciências exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. Cerâmica no Brasil – Introdução – Números do Setor – Cerâmica Vermelha. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/abc_283.asp>. Acesso em: 08 abr. de 2011.

AZUMA, S. **Concept of compression processes for the disposal of refuse in the Osaka city**. The Municipal Governament of Osaka. Osaka, 1973.

BETTIOL, W. et al. **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Cap. 2 Jaguariúna: Embrapa, 2006.

BOEIRA, R. C. **Utilização de lodo de esgoto como adubo nitrogenado: risco ou benefício ao meio ambiente?.** Jaguariúna:Embrapa, 2004. Disponível em: <http://www.sna.agr.br/artigos/651/MEIO%20AMBIENTE.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2011.

CHANG, A. C. et al. **Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed waster and sewage sludge applications in agriculture.** California: Wealth Human Organization, 2001. 94p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n° 375/06. **Define os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Brasília: Conama, 2008.

DAMASCENO, S. et al. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola.** Botucatu: Unesp, 2000.

DUARTE, A. C. L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo**. (111f.) Dissertação apresentada ao programa de pós graduação de engenharia sanitária - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

GEYER, A. L. B. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza se lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto**. 2001. 216f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Contas Nacionais Trimestrais - Indicadores de Volume e Valores Correntes. Comunicação Social, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1631&id_pagina=1>. Acesso em: 19 abr. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/SP2010.pdf>. Acesso em: 10 maio 2011.

JUNIOR, C. **Indústria puxa crescimento do PIB; construção civil foi um dos motores.** Disponível em:<www1.folha.uol.com.br/mercado/793467-industria-puxa-crescimento-do-pib-construcao-civil-foi-um-dos-motores.shtml>. Acesso em: 12 abr. 2011.

KORENTAJER, L. A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. **Water S.A**., v. 17, n.3, jul, p. 189-196, 1991.

MERTEN, G. H. et. al Qualidade da água em bacias hidrográficas: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**. Porto Alegre. V. 3 N. 4, out/dez 2002.

SAITO, M. L. **0 uso do lodo de esgoto na agricultura**: precauções com os contaminantes orgânicos. Jaguariúna:Embrapa, 2007. Disponível em:<http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf>. Acesso em: 16 maio 2011.

VIEIRA, C. M. et al. Formulação de massa de revestimento cerâmico com argilas plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Taguá (SP). Universidade

Estadual do Norte Fluminense. Laboratório de Materiais Avançados. **Revista Cerâmica Industrial**, n6. Rio de Janeiro, 2001.

Contato

Gilson Teixeira Pires
gilsonpires@dglnet.com.br