**ESTUDO SOBRE SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE LODO DE LAVANDERIAS
INDUSTRIAIS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS**

Paulo Henrique Souza Almeida (*), Ana Cláudia Franca Gomes, Célia Regina Granhen Tavares

* Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Mato Grosso.

RESUMO

As lavanderias industriais têxteis, durante o tratamento de seus efluentes, geram quantidades consideráveis de lodo. Outro grave problema ambiental está relacionado com o ruído gerado pelo tráfego de veículos principalmente no meio urbano. O uso de materiais absorvedores de energia sonora e de barreiras acústicas tem se difundido como uma alternativa para o controle de ruído. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade da incorporação do lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de Solidificação/Estabilização em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz). Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos, em escala reduzida, utilizando formulação com 20% de lodo, na massa de argila cerâmica. As análises físicas, mecânicas e químicas dos blocos apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos nas normas vigentes.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo; argila; bloco cerâmico acústico; Solidificação/Estabilização.

ABSTRACT

Industrial textile laundries, during treatment of their effluents, generate considerable amounts of sludge. Another serious environmental problem is related to the noise generated by vehicular traffic, especially in urban areas. The use of materials that absorb sound energy and acoustic barriers has spread as an alternative to noise control. The objective of this work is to evaluate the feasibility of incorporating sludge from industrial textile laundries by means of the Solidification / Stabilization process in acoustic ceramic blocks (Helmholtz resonators). Samples of ceramic blocks were produced on a reduced scale using a 20% sludge formulation in the ceramic clay mass. The physical, mechanical and chemical analyzes of the blocks were within the limits established in the current regulations.

KEY WORDS: Sludge; clay; acoustic ceramic block; Solidification / Stabilization

INTRODUÇÃO

No último século, foi constatado um crescimento urbano intenso na maioria das cidades brasileiras. Paralelamente a este crescimento surgiram problemas de cunho social e ambiental, tal como o crescente processo de geração de resíduos, principalmente industriais. Outro problema ambiental comum nas metrópoles brasileiras é o ruído gerado, principalmente pelo tráfego de veículos no meio urbano, o qual é capaz de provocar efeitos danosos à saúde da população (LISOT, 2008).

De acordo com Santos (2009), a incorporação de resíduos industriais em matrizes sólidas, tais como argila cerâmica e argamassas de cimento, produzindo-se materiais aplicáveis na construção civil, consiste numa alternativa de disposição ou tratamento do resíduo. Um dos materiais cerâmicos que atualmente vêm sendo bastante estudados e que atuam como barreira acústica, são os blocos cerâmicos acústicos, chamados de ressoadores de Helmholtz. A utilização de barreiras acústicas tem se difundido como uma alternativa para o controle de ruído.

A técnica de Solidificação/Estabilização (S/E) é umas das formas de tratamento e disposição dos resíduos industriais. O processo consiste no encapsulamento do resíduo junto à matriz sólida, para que este se mantenha fixado na massa, em consequência da fusão com queima ou cimentação com aditivos quimicamente reativos entre os materiais envolvidos, evitando a lixiviação ou solubilização dos elementos constituintes do resíduo, considerados nocivos ao ambiente. Os resultados dessas interações são sólidos não-perigosos ou menos perigosos que o resíduo original.

Os benefícios do uso de resíduos como aditivos cerâmicos incluem além da imobilização de metais pesados na matriz queimada, a oxidação da matéria orgânica e a destruição de qualquer organismo patogênico durante o processo de queima.



OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estudar a incorporação do lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de Solidificação/Estabilização, em blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz). A incorporação do lodo têxtil em matriz sólida foi realizada na proporção de 20% de m relação à argila, produzindo-se materiais aplicáveis na construção civil.

METODOLOGIA

A argila cerâmica utilizada neste trabalho foi extraída da jazida formada por sedimentação aluvial, localizada próximo às margens do rio Ivaí no Município de Paranapoema - PR. A mesma foi caracterizada quanto ao teor de umidade e matéria orgânica total (Método Kiehl, 1985), pH (método da APHA, 2012), análise química (relacionada aos metais por meio da digestão ácida), análise granulométrica (NBR 7181/2016), limite de plasticidade (NBR 7180/2016), limite de liquidez (NBR 6459/2016), índice de plasticidade (NBR 7180/2016) e massa específica (método do picnômetro).

Já o resíduo têxtil (lodo) utilizado foi proveniente de 10 lavanderias industriais situadas na região de Maringá-PR, e foi gerado no processo de tratamento de efluentes, na fase de decantação (tratamento primário). Estes resíduos foram coletados em estado semi-seco, misturados e homogeneizados em quantidades iguais determinadas em porcentagem de massa seca.

O lodo foi caracterizado quanto aos seguintes parâmetros: teor de umidade e matéria orgânica total (Método Kiehl, 1985), massa específica (método do picnômetro), pH (Embrapa, 1979), análise química (relacionada aos metais por meio da digestão ácida) e quanto suas características tóxicas relacionadas aos procedimentos de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004). Para determinação dos elementos químicos dos extratos lixiviados e solubilizados, bem como do extrato da digestão ácida foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

A argila e o resíduo foram triturados em moinho com barras cilíndricas, passando em seguida pela peneira 10 com malha de 2 mm, para posterior mistura, em porcentagem de massa seca, e homogeneização.

Após a mistura e homogeneização, a massa foi transferida para recipiente de amassamento, adicionando-se água de forma gradativa, até formar uma massa consistente com plasticidade a ponto de abastecer uma extrusora de laboratório. A boquilha de saída da extrusora dá o formato ao bloco cerâmico acústico.

Após a confecção os blocos cerâmicos eram secos em temperatura ambiente em local fechado e ventilado, durante 7 dias, para evaporação da água absorvida. Após a secagem eram queimados no forno de uma cerâmica localizada na cidade de Floresta - PR, a 850°C durante 72 horas, garantindo as condições de queima de um processo industrial.

O resfriamento dos blocos ocorreu de forma natural por cinco dias, até alcançar a temperatura ambiente para o recolhimento do material pronto para análise.

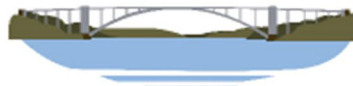
Os ensaios de resistência a compressão e absorção de água foram realizados conforme procedimento descrito na norma NBR 15270-3/2005 da ABNT. A caracterização dos blocos cerâmicos referentes às análises químicas foi feita por meio da determinação de suas características tóxicas, relacionadas aos procedimentos de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004).

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização do lodo e da argila cerâmica, bem como os resultados das análises de metais.

Tabela 1. Características do resíduo têxtil (lodo) e da argila cerâmica.
Fonte: Autor do Trabalho.

PARÂMETROS	LODO	ARGILA
Aspecto	pastoso	seco
pH	6,56	4,81



Massa Específica (g/cm ³)	1,86	2,62
Matéria Orgânica Total (%)	41,70	5,33
Umidade (%)	16,87	4,46
Metais (mg/Kg)		
Alumínio	180.380,00	9.170,00
Chumbo	240,00	155,00
Cobre	496,50	7,50
Cromo	129,50	2,00
Ferro	27.540,50	6.241,00
Manganês	5.014,00	415,50
Sódio	10.785,70	882,80
Prata	97,00	68,50
Arsênio	705,00	335,00

Por meio da análise de caracterização do resíduo, observou-se que o lodo têxtil possui uma grande quantidade de alumínio, ferro, manganês e sódio. Provavelmente estes metais são provenientes do processo de tratamento dos efluentes que se fixam no resíduo sólido, que na maioria das indústrias, é feito por processo de coagulação/floculação, utilizando sulfato de alumínio [Al₂(SO₄)₃] e cloreto férrico (FeCl₃) como agentes coagulantes.

Os metais pesados podem ser provenientes da própria molécula do corante, como o cobre no caso de corantes diretos, ou serem originários de outros materiais utilizados no processo de tingimento, como o mercúrio presente em vários reagentes químicos. Além disso, podem fazer parte constitutiva de produtos como os bronzes metálicos utilizados em estamparia que são derivados de cobre e zinco.

Na maioria das indústrias, o processo de tratamento é feito por coagulação/floculação, utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como agentes coagulantes, e o cloreto de sódio proveniente, do agente antifungo utilizado no processo de tingimento da produção têxtil, também como do fixador de corantes.

O conteúdo de matéria orgânica é um parâmetro importante que pode influenciar na qualidade final dos blocos acústicos. Observou-se na análise do lodo, uma grande quantidade de matéria orgânica presente no resíduo têxtil (41,70%), que pode ocasionar a formação de poros ou blocos com baixa densidade, o que pode influenciar na resistência e na qualidade final dos blocos cerâmicos.

Os ensaios de lixiviação e solubilização do lodo têxtil visam a analisar o impacto ambiental provocado pela exposição do resíduo ao ambiente. Fragmentos do resíduo quando expostos à lavagem por água da chuva, poderiam provocar a contaminação do lençol freático, por meio do processo de infiltração dos metais tóxicos presentes no resíduo.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das análises de caracterização tóxica do lodo têxtil, relacionadas aos ensaios de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004), respectivamente.

Tabela 2. Características tóxicas do resíduo (procedimento de lixiviação).

Fonte: Autor do Trabalho.

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo F)
Bário	4,69	70,00
Cádmio	0,02	0,50
Chumbo	0,18	1,00
Cromo	0,04	5,00
Fluoreto	0,60	150,00
Prata	0,17	5,00



Verificou-se no ensaio de lixiviação que pelo fato de nenhum dos elementos químicos terem seus constituintes lixiviados acima do valor de referência do Anexo F da NBR 10004/2004, o resíduo pode ser classificado como não perigoso – Classe II.

Tabela 3. Características tóxicas do resíduo (procedimento de solubilização).

Fonte: Autor do Trabalho.

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo G)
Bário	0,210	0,700
Cádmio	0,017	0,005
Chumbo	0,190	0,010
Cromo	0,050	0,050
Prata	0,121	0,050
Alumínio	0,630	0,200
Ferro	1.556	0,300
Sódio	459,321	200,0

Os resultados das concentrações dos metais presentes no extrato solubilizado mostram que, Alumínio, Chumbo e Sódio estão acima dos limites estabelecidos pela NBR 10004/2004, demonstrando que no resíduo têxtil há ocorrência de metais que solubilizam em quantidades superiores aos permitidos pela norma, o que leva a classificá-lo como um resíduo de classe II A - não inerte.

Os resultados de caracterização do lodo mostram que este resíduo não pode ser descartado em aterros comuns, havendo necessidade de um processo de tratamento adequado, ou ainda, a sua reutilização como matéria-prima secundária, ou então ser disposto em aterros industriais.

Sobre a caracterização dos blocos cerâmicos acústicos formados, a Figura 1 representa o bloco confeccionado, em escala real, ao qual realizaram-se os ensaios mecânicos para determinar a capacidade de carga dos mesmos quando submetidos à forças aplicadas perpendicularmente ao seu comprimento e a quantidade de água absorvida pelo mesmo.



Figura 1: Bloco cerâmico acústico em escala real. Fonte: Autor do Trabalho.

Na Figura 2, tem-se uma melhor visualização do ensaio de resistência mecânica dos blocos acústicos testados. Observa-se que com a incorporação de lodo houve uma tendência de redução do valor da resistência à compressão, este comportamento pode ser associado ao aumento da porosidade formada na queima dos blocos cerâmicos acústicos, devido principalmente à volatilização da matéria orgânica e da água durante o processo de queima presente no lodo.

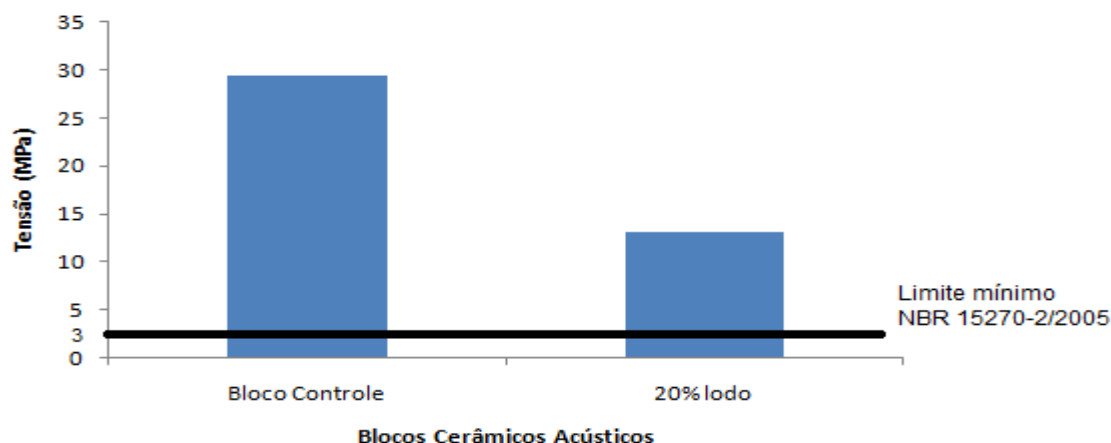
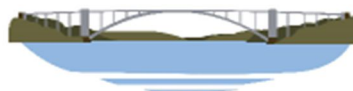


Figura 2: Resistência a compressão em amostras dos blocos cerâmicos acústicos. Fonte: Autor do Trabalho.

Já a Figura 3 representa os resultados alcançados nos testes de absorção de água dos blocos cerâmicos acústicos. O objetivo da determinação do índice de absorção de água é a verificação da porcentagem de água absorvida no período de 24 horas, à temperatura ambiente, isto é, quanto maior a quantidade de água absorvida, maior a porosidade existente na massa cerâmica. De acordo com norma NBR 15270-3/2005 (ABNT, 2005b), o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8%, nem superior a 22%.

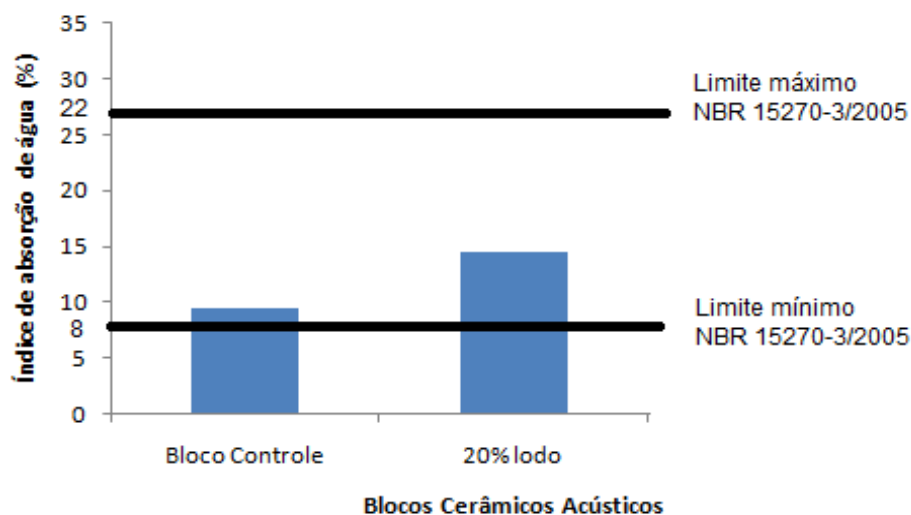


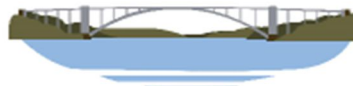
Figura 3: Índice de absorção de água dos blocos cerâmicos acústicos. Fonte: Autor do Trabalho.

Verificou-se que todos os blocos atenderam as especificações da norma NBR 15270-3/2005 da ABNT. Os blocos fabricados com o lodo incorporado a massa cerâmica apresentaram maior valor de absorção de água, em virtude da maior área superficial que as partículas de argila ocupam no bloco juntamente com a quantidade de poros, decorrente da volatilização da matéria orgânica durante o processo de queima dos blocos cerâmicos.

Na lixiviação e na solubilização, ocorreu o contato entre a matriz sólida e o solvente, dando lugar a uma transferência de matéria, ou seja, transferência de contaminante para o meio externo. Para os propósitos deste trabalho, a Solidificação/Estabilização (S/E) buscou limitar a lixiviação e a solubilidade do resíduo, diminuindo a superfície de exposição dos contaminantes, em caso de contato com um fluido lixiviante.

As Tabelas 4 e 5 referem-se às análises dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo a NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004, dos blocos acústicos, preparados com 20% de lodo têxtil.

**Tabela 4. Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos acústicos.
Fonte: Autor do Trabalho.**



METAIS	Controle	20% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Bário	0,660	0,660	70,00
Cádmio	0,087	0,006	0,50
Chumbo	0,150	0,140	1,00
Cromo	0,082	0,007	5,00
Prata	0,067	0,037	5,00

Tabela 5. Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos acústicos.
Fonte: Autor do Trabalho.

METAIS	Controle	20% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Alumínio	0,160	0,068	0,200
Chumbo	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0,010
Prata	0,006	0,035	0,050
Sódio	6,739	2,838	200,0
Zinco	0,478	0,018	5,000

Os testes de análise química mostraram que as concentrações dos metais estão abaixo dos limites estabelecidos na norma NBR 10004/2004 da ABNT. Os elementos químicos contidos no lodo têxtil foram incorporados na massa cerâmica e permanecerão imobilizados no bloco, sem haver prejuízos ou riscos de futura contaminação do solo durante a sua vida útil. Dessa forma, conclui-se que o processo de Solidificação/Estabilização foi eficiente e eficaz na imobilização dos metais na matriz cerâmica.

CONCLUSÕES

A incorporação de 20% de lodo misto na matriz de argila para confecção de blocos cerâmicos acústicos não comprometeu a qualidade técnica do material, já que de acordo com os ensaios físicos e mecânicos, os blocos estiveram dentro dos limites permitidos de acordo com as normas vigentes.

O processo de Solidificação/Estabilização mostrou-se como uma alternativa eficaz de disposição do resíduo, reduzindo o impacto causado pelo resíduo caso fosse disposto no solo sem tratamento prévio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 6459**. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7180**. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
3. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 7181**. Solo - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 2016.
4. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10004**. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10005**. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 10006**. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.



7. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15270-3**. Blocos Cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2005.
8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Manual de métodos de análise de solos. Editora SNLCS, Rio de Janeiro, RJ, 1979.
9. Kiehl, E. J. **Manual de Edafologia: Relação solo - planta**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, SP, 262p, 1985.
10. Lisot, A. **Ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas: Avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
11. Santos, P. S. **Ciência e tecnologia das argilas**. V.1, 2ª ed., Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 2009.
12. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (APHA). **Método 4500-H⁺ B**, 21ª ed. Washington, 2012.