



## **ESTUDO SOBRE SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO DE LODO DE LAVANDERIAS INDUSTRIAIS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS ACÚSTICOS (RESSOADORES DE HELMHOLTZ)**

### **Paulo Henrique Souza Almeida<sup>(1)</sup>**

Doutorando em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá – PR.

### **Célia Regina Granhen Tavares**

Professora Doutora do programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá – PR.

### **Oswaldo Teruo Kaminata**

Professor do Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário de Maringá (CESUMAR), Maringá – PR.

### **Janaina de Melo Franco**

Mestre em Engenharia Urbana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá - PR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Bernardino de Campos n° 1004, Apartamento 02, Zona 07, Maringá - PR, CEP 87.030-160. Fone: (44) 3263-7297. e-mail: [phsoal@hotmail.com](mailto:phsoal@hotmail.com)

## **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), avaliando os seus desempenhos em câmara reverberante. 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.

## **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.

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.

## MATERIAIS E MÉTODOS

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, 2005), análise química (relacionada aos metais por meio da digestão ácida), análise granulométrica (NBR 7181/1984), limite de plasticidade (NBR 7180/1984), limite de liquidez (NBR 6459/1984), índice de plasticidade (NBR 7180/1984) e massa específica (método do picnômetro).

O resíduo têxtil (lodo) utilizado neste trabalho foi proveniente de 10 lavanderias industriais situadas na região de Maringá-PR, e é gerado no processo de tratamento de efluentes, na fase de decantação (tratamento primário). Estes resíduos foram coletados em estado semi-seco e, 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 E DISCUSSÃO

### Caracterização do lodo têxtil

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

**Tabela 1. Características do resíduo têxtil (lodo).**

PARÂMETROS	LODO
Aspecto	pastoso

pH	6,56
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,86
Matéria Orgânica Total (%)	41,70
Umidade (%)	16,87
<b>Metais (mg/Kg)</b>	
Alumínio	180.380,00
Chumbo	240,00
Cobre	496,50
Cromo	129,50
Ferro	27.540,50
Manganês	5.014,00
Sódio	10.785,70
Zinco	684,75
Prata	97,00
Bário	65,00
Cádmio	20,00
Arsênio	705,00
Mercúrio	0,25
Selênio	n.d

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

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 e cloreto férrico como agentes coagulantes.

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).**

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

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

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).**

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo G)
Arsênio	n.d	0,010
Bário	0,210	0,700
Cádmio	0,017	0,005
Chumbo	0,190	0,010
Cromo	0,05	0,050
Mercúrio	n.d	0,001
Prata	0,121	0,050
Selênio	n.d	0,010
Alumínio	0,630	0,200
Cobre	n.d	2,000
Ferro	1.556	0,300
Zinco	0,047	5,000
Manganês	7,336	0,100
Sódio	459,321	200,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Os resultados das concentrações dos metais presentes no extrato solubilizado (NBR 10006/2004) mostram que, Al, Pb, Mn e Na estão acima dos limites estabelecidos, demonstrando que no resíduo têxtil há ocorrência de metais que solubilizam em quantidades superiores aos permitidos pela NBR 10004/2004 da ABNT, o que leva a classificá-lo como um resíduo de classe II A - não inerte.

#### **Caracterização da argila cerâmica**

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises de caracterização da argila utilizada para a fabricação dos blocos cerâmicos acústicos.

**Tabela 4. Características da argila cerâmica.**

PARÂMETROS	ARGILA
Aspecto	seco
pH	4,81
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,62
Matéria Orgânica Total (%)	5,33
Umidade (%)	4,46
<b>Metais (mg/Kg )</b>	
Alumínio	9.170,00
Arsênio	335,00
Bário	n.d.
Cádmio	14,00
Chumbo	155,00
Cobre	7,50
Cromo	2,00
Ferro	6.241,00
Manganês	415,50
Mercúrio	0,02

Prata	68,50
Selênio	0,29
Sódio	882,80
Zinco	62,85

n.d: valor não detectado pelo aparelho

As características das argilas dependem da sua formação geológica e da localização da extração. A argila estudada é proveniente da Bacia do Ivaí, norte do estado do Paraná, onde predominam as rochas sedimentares, folhetos, arenitos e calcários.

O valor de pH da argila analisada foi de 4,81. Segundo Thomas (1996) geralmente valores de pH do solo de 4 a 6, indicam a presença de alumínio trivalente em solos minerais e até em certos solos orgânicos.

O conteúdo de matéria orgânica, assim como a umidade, são parâmetros importantes que podem influenciar na qualidade final dos blocos cerâmicos, influenciando diretamente a porosidade e a absorção de água dos blocos.

A Tabela 5 apresenta os resultados da análise granulométrica da argila.

**Tabela 5. Análise granulométrica da argila.**

AMOSTRA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA GROSSA (%)
Argila Bruta	51	27	15	6	1

A amostra de argila utilizada apresenta características físicas apropriadas para produção de materiais cerâmicos de boa qualidade, visto que, por meio da análise granulométrica apresentada na Tabela 5, verificou-se que 50% da argila bruta referem-se à fração argila, ou seja, trata-se de um material com alta capacidade de coesão após o umedecimento adequado, contendo principalmente partículas da fração argila e silte, que são preponderantes para formação de rigidez durante a queima em forno.

Consistência é o termo usado para designar as manifestações das forças físicas de coesão entre partículas do solo, e de adesão entre as partículas e outros materiais. Os limites de consistência são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6. Limites de consistência da amostra de argila.**

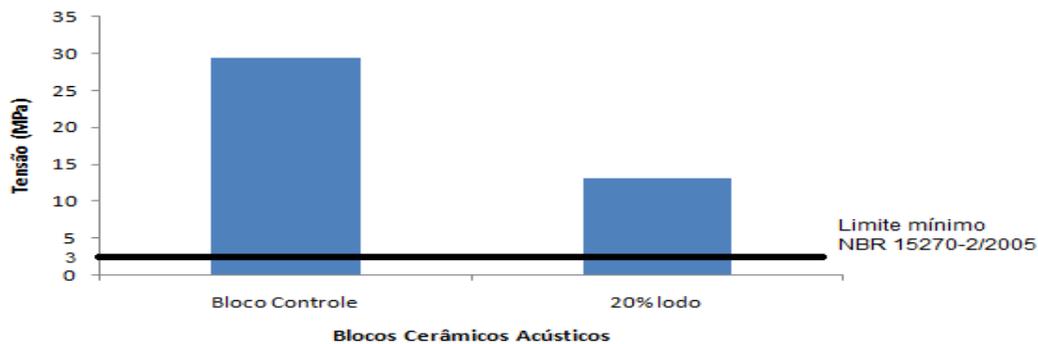
PARÂMETRO	Argila
Limite de Plasticidade (%)	19
Limite de Liquidez (%)	60
Índice de Plasticidade (%)	41

A argila estudada pode ser considerada um material de alta plasticidade (LP > 15%). O limite de plasticidade indicado para cerâmica vermelha varia entre 17,2 e 32%.

O limite de liquidez (LL) foi superior a 50%, o que indica que esta argila apresenta uma alta compressibilidade. No caso específico da tecnologia cerâmica, para moldagem de blocos cerâmicos por extrusão, as faixas de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), recomendadas para argilas plásticas, correspondem a: LL variando de 26,50% a 71,60% e IP variando de 4,00% a 47,70%.

### **Caracterização dos blocos cerâmicos acústicos**

Na Figura 1, tem-se uma melhor visualização do ensaio de resistência mecânica dos blocos acústicos testados.



**Figura 1. Resistência a compressão em amostras dos blocos cerâmicos acústicos.**

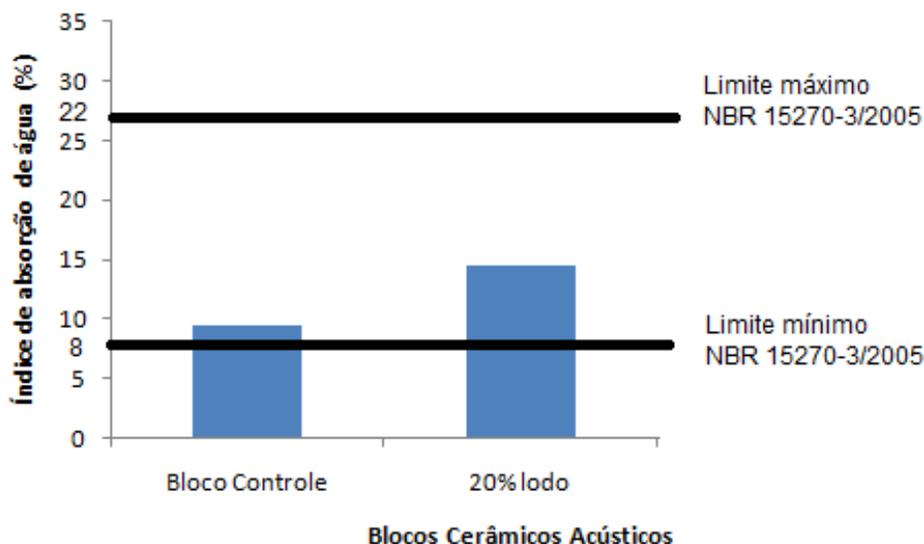
Nesse ensaio verificou-se a capacidade de carga, que os blocos cerâmicos acústicos suportavam, quando submetidos à forças aplicadas na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, ou seja, perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento.

As amostras de blocos cerâmicos acústicos, que possuem funções estruturais, devem atender ao requisito mínimo de 3,0 MPa, de acordo com a NBR 15270-2/2005. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais, como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento da construção.

Verificou-se que em todas as proporções (blocos somente com argila e com 20% de incorporação de lodo têxtil) utilizadas a resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos acústicos produzidos atendeu aos limites mínimos especificados na NBR 15270-2/2005. 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.

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.

Na Figura 2, tem-se uma melhor visualização do processo de absorção de água, obtido em blocos cerâmicos acústicos.



**Figura 2. Índice de absorção de água em amostras dos blocos cerâmicos acústicos.**

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. Blocos cerâmicos com alto índice de absorção água podem sofrer aumento de carga quando expostas à chuva, podendo acarretar problemas estruturais à construção.

As Tabelas 7 e 8 referem-se às análises dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo a NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004, dos blocos cerâmicos, preparados com 20% de lodo têxtil.

**Tabela 7. Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos.**

METAIS	Controle	20% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Arsênio	n.d	0,32	1,00
Bário	0,66	0,66	70,0
Cádmio	0,087	0,006	0,50
Chumbo	0,15	0,14	1,00
Cromo	0,082	0,007	5,00
Fluoreto	n.d	2,495	150,0
Mercurio	n.d	n.d	0,10
Prata	0,067	0,037	5,00
Selênio	n.d	n.d	1,00

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

**Tabela 8. Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos.**

METAIS	Controle	20% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Alumínio	0,16	0,068	0,200
Arsênio	n.d	0,010	0,010
Bário	n.d	n.d	0,700
Cádmio	$4,0 \cdot 10^{-3}$	n.d	0,005
Chumbo	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	0,010
Cobre	n.d	n.d	2,000
Cromo	n.d	n.d	0,050
Ferro	n.d	n.d	0,300
Manganês	0,051	0,075	0,100
Mercurio	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	0,001
Prata	0,006	0,035	0,050
Sódio	6,739	2,838	200,0
Zinco	0,478	0,018	5,000
Selênio	n.d	n.d	0,010

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Os testes de análise química mostraram que as concentrações dos metais estão abaixo dos limites estabelecidos na norma NBR 10004/2004 da ABNT.

Esses resultados demonstraram que 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.

## **CONCLUSÕES**

A incorporação de 20% 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.

Os metais encontrados no resíduo permanecem encapsulados na matriz cerâmica, possibilitando o uso desses blocos como material de construção, sem que haja riscos de contaminação em seu período de utilização.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: *Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
2. MOREIRA, A. H.; OLIVEIRA, R. M.; LIMA, P. D. S. *Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção*. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 47, n. 303, 2001.
3. SANTOS, P. S. *Ciência e tecnologia das argilas*. V.1, 2ª ed., Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989.
4. THOMAS, G.W. *Soil pH and Soil Acidity*. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods, Soil Science Society of America, Book Series n.5, pp.475-490, 1996.