

X-005 - DESEMPENHO ACÚSTICO DE BLOCOS CERÂMICOS FABRICADOS COM INCORPORAÇÃO DE LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVANDERIAS TÊXTEIS

Thiago Moraes de Castro⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela UNESP. Engenheiro de Segurança do Trabalho e Mestre em Engenharia Urbana pela UEM. Doutorando em Engenharia Agrícola na UNIOESTE. Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Campo Mourão.

Célia Regina Granhen Tavares

Engenheira Química pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Química pela USP. Doutora em Engenharia Química pela UFRJ e INSA-Toulouse e Pós-doutorado em Engenharia Ambiental pela Université Montpellier II. Professora Titular na UEM.

Oswaldo Teruo Kaminata

Engenheiro Civil e Especialista em Tratamento de Águas Residuárias pela Universidade de Guarulhos. Especialista em Gestão Ambiental e Mestre em Engenharia Urbana pela UEM. Professor na UEM.

Aline Lisot

Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Urbana pela UEM. Doutora em Engenharia Civil pela UNICAMP. Professora na UEM.

Paulo Fernando Soares

Engenheiro Civil pela UEM, Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela USP. Professor Associado na UEM.

Endereço⁽¹⁾: Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 – Área Urbanizada – Campo Mourão - PR - CEP: 87301-899 - Brasil - Tel: (44) 3518-1434 - e-mail: thiagocastro@utfpr.edu.br

RESUMO

As lavanderias industriais têxteis, durante o tratamento de seus efluentes, geram quantidades consideráveis de lodo. Com relação ao destino final adequado do lodo, vêm sendo desenvolvidos estudos no sentido de sua valorização. Outros graves problemas ambientais comuns estão relacionados com a má qualidade acústica em ambientes fechados e com o ruído gerado pelo tráfego de veículos principalmente no meio urbano. Vários pesquisadores acreditam que uma das formas de melhorar o desempenho de barreiras acústicas é utilizar ressoadores de Helmholtz na sua execução. Para o caso dos lodos obtidos em lavanderias industriais o tratamento que envolve a solidificação/estabilização, apresenta-se como alternativa viável, por ser capaz de reter elementos contaminantes em uma matriz sólida. Os blocos cerâmicos acústicos desenvolvidos somente com argila e com a incorporação de 20% de lodo misto de lavanderia industrial foram analisados em câmara reverberante em escala reduzida, onde foram obtidos seus coeficientes de absorção sonora. Verificou-se que os valores obtidos atenderam o projeto, pois os blocos são estruturas capazes de absorver o som em frequências específicas, e foram dimensionados com o objetivo de reduzir os Níveis de Pressão Sonora (NPS) nas baixas frequências, em especial entre 125 e 250 Hertz.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de lavanderia têxtil, Bloco Cerâmico Acústico, Coeficiente de Absorção.

INTRODUÇÃO

Nas indústrias têxteis, mas especificamente do ramo de lavanderias, são geradas grandes quantidades de lodos durante o tratamento primário (físico-químico) ou secundário (biológico) dos efluentes líquidos. Estes resíduos semissólidos necessitam de um destino final adequado, porém a técnica mais comum que é a disposição final em Aterros Industriais licenciados encarece o processo produtivo, e como consequência, alguns destes materiais acabam ficando exposto diretamente ao ambiente, contaminando-o.

O procedimento que envolve a Solidificação/Estabilização (S/E) de resíduos sólidos industriais em matrizes sólidas, tais como argila cerâmica, argamassas de cimento e de concreto, produzindo-se materiais utilizáveis na construção civil, consiste em alternativa de tratamento/reaproveitamento de resíduos. A utilização da argila como agente solidificador no tratamento de resíduos passou a ser investigada a partir da constatação de que os

processos clássicos à base de cimento e cal, não eram eficientes no tratamento de resíduos com alto teor de materiais orgânicos (VIEIRA *et al.*, 2007).

Na última década vários estudos comprovaram a potencialidade do aproveitamento de resíduos sólidos industriais como matéria prima para a fabricação, principalmente, de material cerâmico, como é o caso dos trabalhos de Paixão *et al.* (2008) que estudaram a incorporação de lodo gerado em estação de tratamento de água em massa cerâmica argilosa, para fabricação de material para construção civil, Moreira *et al.* (2001) que estudaram a incorporação de lodo têxtil em argila, para reaproveitamento na construção civil e Oliveira *et al.* (2004) que verificaram por meio da determinação das características de lodo gerado em estação de tratamento de água, a possibilidade de sua aplicação na incorporação em massa de cerâmica vermelha, obtendo bons resultados de aplicabilidade, entre outros.

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. Segundo Lisot (2008) é interessante realizar intervenções no ambiente, com o intuito de diminuir a intensidade dos sons que atingem o receptor.

Alguns pesquisadores (LISOT, 2008; BISTAFÁ, 2011; SANTOS, 2005; SOUZA *et al.*, 2006) acreditam que uma das formas de melhorar o desempenho de barreiras acústicas é utilizar, por exemplo, blocos absorventes acústicos (ressoadores) na sua execução. Os ressoadores são peças que têm a capacidade de absorver sons em frequências específicas, principalmente as mais baixas, conforme o seu dimensionamento.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho em câmara reverberante de blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz) produzidos com incorporação de lodo de lavanderias industriais têxteis, por meio do processo de Solidificação/Estabilização (S/E).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletados e homogeneizados lodos prontos para serem destinados para Aterros Industriais de 12 lavanderias industriais da região de Maringá-PR. O lodo de lavanderia têxtil industrial foi caracterizado quanto à quantidade de sólidos voláteis, pH, umidade, massa específica, concentração de metais e quanto suas características tóxicas.

A argila cerâmica utilizada neste trabalho foi extraída da jazida formada por sedimentação aluvial, localizada próximo às margens do rio Ivaí no Município de Japurá-PR. A argila cerâmica utilizada na presente pesquisa foi analisada quanto aos seguintes parâmetros: sólidos voláteis, matéria orgânica, pH, análise granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade e massa específica.

Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos acústicos (ressoadores de Helmholtz), em escala reduzida em um quinto do tamanho real, utilizando formulações com 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo seco, na massa de argila cerâmica seca, para definir a máxima proporção adequada. Além destes, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com argila cerâmica.

Com os resultados obtidos após ensaios normativos necessários (resistência à compressão, absorção de água, caracterização geométrica, ensaio de lixiviação e solubilização), foi definida a máxima porcentagem de incorporação do lodo de lavanderia têxtil industrial na matriz de argila, sendo este, considerado padrão para a etapa de caracterização acústica por meio da avaliação dos blocos em câmara reverberante. Foram produzidos blocos cerâmicos acústicos em escala reduzida a fim de serem obtidos os coeficientes de absorção sonora de Sabine em câmara reverberante em escala reduzida.

A determinação dos coeficientes de absorção sonora foi realizada no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Para determinar o valor do coeficiente de absorção sonora de Sabine dos materiais foi realizado o ensaio acústico conforme a ISO 354 (*Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*, 2003). O ensaio foi aplicado em

câmara reverberante, a qual tem as superfícies construídas de forma a maximizar o som refletido, com o intuito de gerar um campo difuso.

O referido ensaio consistiu em colocar uma amostra do material de interesse no piso da câmara reverberante e ser realizada a medição do tempo de reverberação, este tempo é denominado T_{60} . Após a medição, a amostra do material foi retirada e um novo tempo de reverberação da câmara sem a amostra (T'_{60}) foi medido. E assim, o coeficiente de absorção sonora de Sabine da amostra foi calculado por meio da Equação 1 (BISTAFÁ, 2006).

$$\alpha_{Sab} = 0,161 \frac{V}{S} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T'_{60}} \right) \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

- “ α_{Sab} ” é o coeficiente de absorção sonora de Sabine,
- “ V ” é o volume da câmara [m^3],
- “ S ” é a área da amostra [m^2],
- “ T_{60} ” é o tempo de reverberação com a amostra [s],
- “ T'_{60} ” é o tempo de reverberação sem a amostra [s].

A câmara foi projetada para realização de ensaios não apenas de absorção sonora, mas também de coeficiente de espalhamento de superfícies. O software de avaliação acústica de salas, DIRAC® da Brüel & Kjaer foi utilizado para a determinação do tempo de reverberação.

Segundo Santos e Beroli (2008) no caso do projeto de câmara, a escala escolhida para os ensaios foi a de 1:5. Esta escolha baseou-se na faixa de captação de sinais dos microfones, na faixa de processamento dos sinais dos programas de medição a serem utilizados e que não poderiam ser superior a 20 kHz. Outro motivo é que 20 kHz representa nessa escala 4 kHz, sendo a maior banda de medição de 1/3 de oitava, considerada para expressar resultados dos parâmetros acústicos e, segundo a ISO 3382:1997, ISO 354:2003 e ISO 17497:2004, os coeficientes de absorção e espalhamento de uma superfície.

Ainda de acordo com Santos e Beroli (2008) segundo a norma de determinação de potência sonora ISO 3741:1994, a câmara reverberante exige frequências mínimas de medição, e a norma ISO 354:1985 recomenda para o volume de uma câmara reverberante em escala real próximo a $200\ m^3$. A norma ISO 3741:1994 também indica que as dimensões da câmara (l_x , l_y e l_z) devem, preferencialmente, satisfazer algumas relações e que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Relações entre dimensões (l_x , l_y e l_z) para uma sala retangular, segundo a norma ISO 3741:1994

l_y / l_x	l_z / l_x
0,83	0,47
0,83	0,65
0,79	0,63
0,68	0,42
0,70	0,59

Assim, Santos e Beroli (2008) adotaram as dimensões internas no projeto da câmara que foram de 1,20 m de largura (l_y), 1,52 m de profundidade (l_x) e 0,96 m de altura (l_z), resultando nas relações de: $l_y/l_x = 0,79$ e $l_z/l_x = 0,63$. A partir destas dimensões, o volume da câmara em escala ficou sendo de $1,75\ m^3$ o que em escala real representaria uma câmara de $218,9\ m^3$.

A relação entre a frequência na escala real (f_r) e a frequência do modelo em escala (f_m) é determinada pela Equação 2, em que n é o fator de escala.

$$f_r = f_m / n \quad \text{equação (2)}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios normativos para blocos que possuem função estrutural segundo Castro (2010), foi verificada que a proporção máxima de 20% de lodo na massa de argila, na base seca, levou à obtenção de um produto com maior garantia de qualidade técnica, e assim, esta formulação foi considerada a máxima recomendada e utilizada nos ensaios acústicos.

Na Tabela 2 estão apresentadas as médias dos tempos de reverberação obtidos na câmara reverberante em escala reduzida em 1:5, com e sem os painéis de blocos cerâmicos acústicos. Foram montados dois painéis, sendo um painel formado somente com blocos cerâmicos acústicos controle e outro painel somente com blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo. Os painéis foram montados com a vedação das juntas e das laterais e medidos seus coeficientes de absorção sonora na câmara reverberante em escala reduzida (Figura 1).

Tabela 2: Tempos de reverberação obtidos na câmara reverberante

Frequência [Hz]	Tempo de reverberação médio (s)		
	Sem painel (T'_{60})	Com painel de blocos cerâmicos controle (T_{60})	Com painel de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo
100	0,534	0,352	0,340
125	0,561	0,436	0,380
160	0,687	0,725	0,625
200	0,703	0,546	0,550
250	0,666	0,548	0,584
315	0,736	0,555	0,558
400	0,883	0,687	0,685
500	0,883	0,719	0,721
630	1,046	0,779	0,773
800	1,216	0,593	0,609
1000	1,290	0,580	0,574
1250	1,362	0,681	0,650
1600	1,295	0,742	0,691
2000	1,240	0,823	0,800
2500	1,169	0,859	0,834
3150	1,112	0,833	0,785
4000	1,030	0,820	0,783
5000	0,892	0,761	0,736
6300	0,659	0,565	0,555
8000	0,568	0,473	0,448
10000	0,559	0,480	0,452
12500	0,487	0,429	0,404
16000	0,401	0,351	0,334
20000	0,317	0,289	0,273



Figura 1: Painel de blocos cerâmicos acústicos com a vedação das laterais prontos para obtenção dos tempos de reverberação

O coeficiente de absorção foi calculado por meio da Equação 1 (BISTAFA, 2006). Levando-se em consideração o volume (V) de $1,75 \text{ m}^3$ da câmara reverberante em escala e a área superficial (S) de $0,48 \text{ m}^2$, têm-se na Tabela 3 os coeficientes de absorção sonora da Sabine (α_{Sab}) dos blocos cerâmicos controle e dos blocos cerâmicos com a incorporação de 20% de lodo, ambos em escala reduzida em 1:5.

Tabela 3: Coeficientes de absorção sonora de Sabine em escala reduzida 1:5

Frequência [Hz]	Coeficiente de absorção sonora de Sabine	
	Painel de blocos cerâmicos controle	Painel de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo
100	0,56	0,61
125	0,29	0,51
160	-0,05	0,09
200	0,24	0,24
250	0,19	0,13
315	0,26	0,26
400	0,18	0,20
500	0,15	0,15
630	0,19	0,21
800	0,50	0,49
1000	0,55	0,58
1250	0,42	0,49
1600	0,33	0,41
2000	0,24	0,27
2500	0,18	0,21
3150	0,17	0,23
4000	0,14	0,19
5000	0,11	0,14
6300	0,14	0,17
8000	0,20	0,29
10000	0,17	0,25
12500	0,16	0,25
16000	0,20	0,30
20000	0,18	0,31

Para se determinar os valores do coeficiente de absorção de Sabine dos blocos cerâmicos acústicos em escala real podem-se multiplicar os valores das frequências pela escala do bloco reduzido, por exemplo, a frequência de 500Hz dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:5 equivale a frequência de 100Hz dos blocos cerâmicos acústicos em tamanho real. Isto ocorre, pois há relação entre a frequência na escala real (f_r) e a frequência do modelo em escala (f_m) representada na Equação 2. Assim, têm-se na Figura 2 os coeficientes de absorção sonora de Sabine.

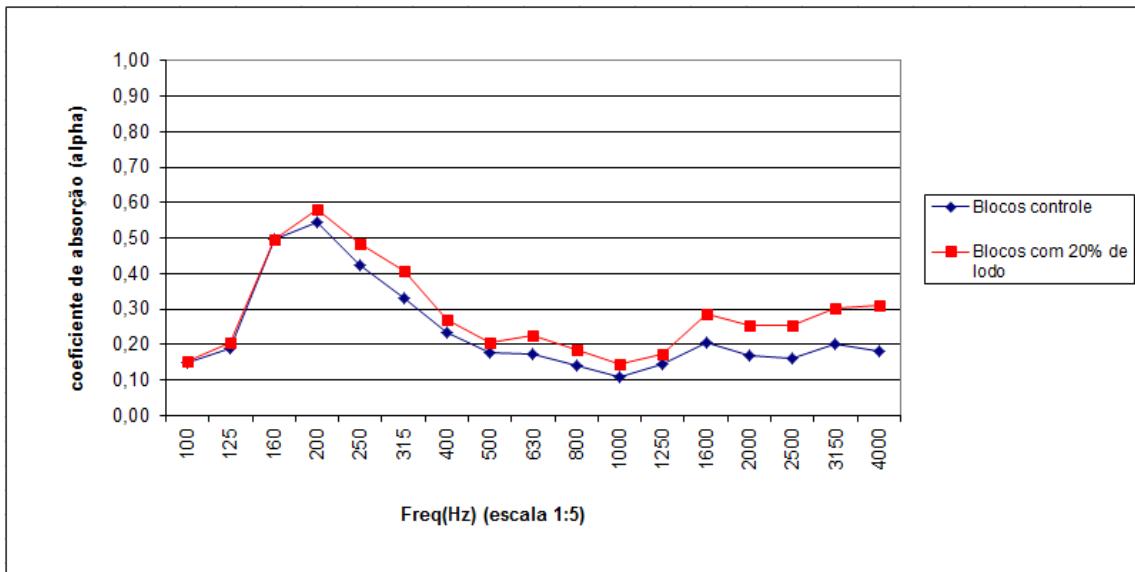


Figura 2: Gráfico dos coeficientes de absorção sonora de Sabine dos blocos na escala real

Verifica-se na Figura 2 que de forma geral os blocos cerâmicos acústicos produzidos com a incorporação de 20% de lodo apresentaram valores maiores dos coeficientes de absorção sonora de Sabine, este fato provavelmente está associado a uma maior presença de poros nestes blocos. Os poros foram formados pela volatilização durante o processo de queima de aproximadamente 12,69% da matéria orgânica e 8,46% da umidade, que estavam presentes no bloco cerâmico passado pelo processo de extrusão. Já em relação aos blocos cerâmicos controle os índices foram de 5,33% de matéria orgânica e 5,73% de umidade.

Levando-se em consideração que Lisot (2008) adotou a forma do ressoador de Helmholtz (bloco cerâmico acústico) tendo em vista a necessidade de, no cálculo da frequência de oscilação, atingir-se um valor entre 125 e 250Hz, pode-se verificar que o objetivo foi atingido, já que este importante fato está relacionado aos picos dos valores do coeficiente de absorção sonora na frequência de 200Hz atingindo valores de 0,55 e 0,58, para o painel de blocos cerâmicos controles e de blocos cerâmicos com incorporação de 20% de lodo, respectivamente.

CONCLUSÕES

Foram determinados os coeficientes de absorção sonora no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde se notou que a incorporação de 20% de lodo na massa de argila, em relação à argila e considerando a massa seca de ambos os materiais, resultou de uma maneira geral em coeficientes de absorção sonora maiores com relação aos coeficientes de absorção sonora dos blocos controle para as frequências estudadas. O fato de uma maior quantidade e variedade de poros terem sido formados durante a queima dos blocos com incorporação do lodo contribui para obtenção de coeficientes de absorção sonora maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
2. CASTRO, T. M. Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
3. Dirac Room Acoustics Software. Type 7841 Version 3.1®. Brüel & Kjær.
4. ISO 354. Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003.
5. ISO 3741, Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision method for reverberations rooms, 1999.
6. LISOT, A. Ressoadores de Helmholtz em barreiras acústicas: Avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
7. 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, v. 47, n. 303, p. 158-162, 2001.
8. OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. Revista Cerâmica, v. 50, n. 316, p. 324-330, 2004.
9. PAIXÃO, L. C. C.; YOSHIMURA, H. N.; ESPINOSA, D. C. R.; TENORIO, J. A. S. Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa. Revista Cerâmica, v. 54, n. 329, p. 63-76, 2008.
10. SANTOS, C. dos; BEROLI, S. R. Construção de câmara reverberante em escala para realização de ensaios acústicos. In: VI Congresso Ibero-americano de Acústica – FIA, 2008. Buenos Aires.
11. SANTOS, J. L. P. dos. Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005, 75p.
12. SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. (2006) Bé-a-ba da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura. São Carlos: EdUFSCar. 2006, 150 p.
13. VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C. M.; MOTHÉ, A. V.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. Revista Cerâmica, v. 53, n. 328, p. 381-387, 2007