

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA TRATAMENTO ACÚSTICO DE ATELIÊS

Faccin, Renata (1); Godoy, Eliane; Marcuz, Marianna (2)

- (1) Profª. Dra. da FAU-Unimep, Rod. Santa Barbara D'Oeste / Iracemópolis, Km 1 – CEP:
13.450.000, 19 - 31241784
e-mail: rfaccin@unimep.br
- (2) Alunos do 6º semestre do Curso de Arquitetura e Urbanismo da FAU-Unimep
e-mail: ecgodoy@unimep.br e mvmarcuz@unimep.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo garantir um maior conforto ao ambiente educacional. Trata-se de um tratamento acústico realizado, por alunos da Disciplina de Conforto Ambiental da FAU – UNIMEP, em dois ateliês do Curso de Arquitetura e Urbanismo. Constatou-se, através de cálculos do tempo de reverberação, que a relação entre o volume dos ambientes e seus materiais de revestimentos favoreciam uma reverberação acima do recomendado para um ambiente educacional. Os resultados dos estudos apontam baixa qualidade acústica, comprometendo o ensino e o aprendizado. Desta forma, optou-se pelo desenvolvimento de projetos de tratamento acústico para solucionar o problema sem, no entanto, apresentar um custo de execução elevado. Incluiu-se nos estudos técnicos, diferentes tipos de materiais acústicos, os convencionais disponíveis no mercado e os alternativos analisados em pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Acústica da Universidade Federal de Santa Maria – RS. Apresentou-se duas propostas, uma com material industrializado feito a partir de madeira reciclada, o qual possui um valor comercial muito inferior aos demais pesquisados e, outra com um material de descarte garrafas Pet de 2L. Ambos os projetos foram executados através de oficinas e apresentaram bons resultados técnicos e de satisfação dos usuários.

ABSTRACT

This work had as an objective the provision of a higher comfort to the education environment. It is an accomplished acoustic treatment, for students of the Discipline of Comfort of FAU – UNIMEP, on two studios of the Course of Architecture and Urbanization. Calculations of the reverberation time shown that the relationship between the volume of the rooms and their covering favored a reverberation above what is recommended for educational purposes. The results of the studies point at low acoustic quality, disfavoring both the teaching and learning. This way, the choice was made for the development of projects of acoustic treatment to solve the problem without, however, to present a high execution cost. The acoustical examination of the studios included different types of available conventional materials in the market and other alternative ones presented in results of researches developed by the Laboratory of Acoustics of Santa Maria's Federal University–RS. Two materials were proposed. One was obtained from recycled wood - Forrofort, which proves much cheaper than the other materials researched. Another was obtained from discarded PET bottles. Both projects were executed through workshops and were successful, both technically and in terms of users satisfaction.

1. INTRODUÇÃO

Os prejuízos ao ensino causados por problemas acústicos em ambientes educacionais são uma preocupação que vem recebendo grande interesse em estudos nacionais e internacionais. A *Acoustical Society of America* vem desenvolvendo trabalhos sobre a relação ensino e conforto acústico. As discussões fortalecem pontos observados na nossa realidade e indicam a generalização do problema.

O nível de ruído elevado em sala de aula diminui o rendimento escolar, prejudica a atenção dos alunos e desgasta o professor. Os problemas relacionados à acústica inadequada do ambiente escolar são causados pelos ruídos de impacto, vozes, reverberação e ruídos externos. Isso provoca a falta de privacidade em sala de aula e dificuldades na comunicação verbal (SANTOS e SLAMA, 1993 e SERRA e BIASSONI, 1994).

Estudos comprovam problemas de ruído excessivo em salas de aula de diversos países. PICARD, 1999, por exemplo, em uma pesquisa realizada nos EUA aponta que os níveis de pressão sonora, durante as atividades escolares, estão aproximadamente de 4 a 38 decibéis acima dos valores ideais. Na média destas condições, estudantes com audição normal são capazes de entender apenas 66% das palavras pronunciadas pelos professores. Esta é uma situação alarmante somando-se à fadiga vocal dos professores que se esforçam para elevar o tom de voz.

Ter uma sala e aula preparada acusticamente é útil, agradável e muito importante para a saúde das pessoas, pois caso contrário, o efeito psicoacústico cansa a mente e provoca stress, além de que a exposição prolongada a um alto nível sonoro pode provocar irritação, fadiga, mal-estar, danos ao ouvido e diminuição da audição.

2. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Os ambientes estudados são dois ateliês da FAU que fazem parte de um dos edifícios do Campus da Unimep, localizado na cidade de Santa Bárbara D'Oeste – SP. Este campus localiza-se em uma área afastada do centro da cidade, portanto, desprovida de ruídos externos urbanos ou de outra natureza, que possam causar prejuízo às atividades dos ambientes. Apresenta, no entanto, outros fatores que afetam diretamente o desempenho acústico como ruídos internos provenientes dos usuários e de ventiladores, que é agravado pelos tipos de materiais construtivos utilizados, prejudicando desta forma as atividades acadêmicas.

Os ateliês, utilizados principalmente para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e de planejamento urbano, além de aulas teóricas ou provas, devem proporcionar condições adequadas para as funções a que se destinam. Inicialmente, os usuários, alunos e professores, indicaram o problema acústico à administração do compus, a qual solicitou auxílio para tomar providências neste sentido. Desta forma, para apontar soluções adequadas, verificou-se a necessidade de rever os aspectos físicos internos dos ambientes para propor melhorias ao seu desempenho. Assim, esse trabalho foi desenvolvido por alunos da Disciplina de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo como extensão ao ensino.

2.1 Características dos Ambientes

Os dois ambientes possuem características físicas e espaciais bastante semelhantes, de formato em leque, conforme Figura 01. A estrutura e a laje são em concreto armado aparente, as vedações laterais externas são predominantemente envidraçadas e de alvenaria revestida. As áreas são de 169,00 m² para o ateliê 01 e 131,00 m² para o ateliê 02, sendo que o pé direito de ambos é de 4,00 m, configurando um volume significativo para o assunto em questão, como pode-se observar nas figuras 01 e 02.

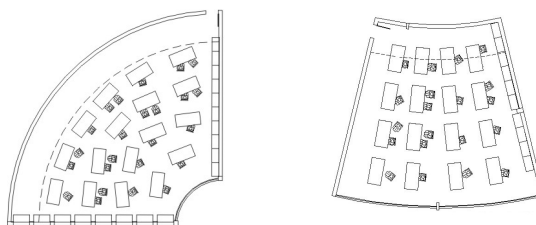


Figura 01 – Plantas do ateliê 01 e 02



Figura 02 - Interior do ateliê 01; interior do ateliê 02

3. AVALIAÇÃO TÉCNICA DO AMBIENTE

Analisando as superfícies internas dos ambientes, encontramos materiais que refletem o som, como piso de granilite, teto em concreto armado aparente, grandes áreas envidraçadas e mobiliárias de superfícies lisas (pranchetas). Foram efetuados cálculos do TR para cada um dos ateliês, utilizando para isso a fórmula de Sabine, indicada após o cálculo do coeficiente médio dos ambientes, conforme o que segue.

$$Tr = \frac{0,161 \times V}{\sum (Sn \times \alpha n)}$$

Onde:

Tr = Tempo de Reverberação

V = Volume do ambiente

S = Área da(s) superfície(s) do(s) material(is)

n = Tipos de materiais de revestimento.

α = Coeficiente de absorção dos materiais

Mediu-se todas as áreas de superfície interna exposta e encontrou-se os coeficientes de absorção de cada material. Considerando a capacidade máxima de 80 pessoas para o ateliê 01 e de 65 para o ateliê 02, determinou-se uma ocupação de 2/3 para o cálculo, que utilizou a NBR 12179 da ABNT para três diferentes frequências (125, 500 e 2000 Hz), conforme os coeficientes de cada material. Verificou-se, portanto, que o TR de cada um dos ambientes estavam muito acima do tempo ideal. Os resultados encontrados estão nas tabelas 01 e 02 a seguir.

Tabela 01 – Ateliê 01

| Área Total de Superfície : 564,64 m² | | | |
|--|---------------|---------------|----------------|
| Volume Total: 662,18 m³ | 125 Hz | 500 Hz | 2000 Hz |
| TR Encontrado | 3,4 s | 2,8 s | 2,4 s |
| TR Ideal | 0,7 s | 0,5 s | 0,7 s |

Tabela 02– Ateliê 02

| Área Total de Superfície: 462,36 m² | | | |
|---|---------------|---------------|----------------|
| Volume Total: 521,40 m³ | 125 Hz | 500 Hz | 2000 Hz |
| TR Encontrado | 2,3 s | 3,0 s | 2,8 s |
| TR Ideal | 0,7 s | 0,5 s | 0,5 s |

Para especialistas em audição da *American Speech and Hearing Association*, uma sala de aula acusticamente satisfatória deve apresentar um Tempo de Reverberação que não ultrapasse 0,4 segundos. Muitas salas excedem de duas a três vezes este valor (ASHA, 1995). Consta, nesse trabalho que, nos EUA os ruídos internos causados por aparelhos de ar condicionado, aquecedor e ventilador são, geralmente, as causas físicas do ruído dentro de salas de aula. Centrais de aquecimento e refrigeração são mais silenciosas, seguidos das instalações de teto. Sistemas silenciosos são raros devido ao alto custo. Administradores devem exigir equipamentos mais silenciosos do mercado.

Para complementar a análise dos resultados do TR e também no sentido de valorizar a opinião dos usuários, aplicou-se um teste de inteligibilidade, adaptado de MINANA, 1969, o qual confirma a deficiência de 40% e 30% dos ambientes 01 e 02 respectivamente, considerando ainda que fatores adversos influenciam na concentração do aluno, prejudicando significativamente o aprendizado.

Partindo-se deste parâmetro propôs-se, através de projeto específico, o revestimento de algumas superfícies existentes com materiais que possuem um melhor coeficiente de absorção sonora. No entanto, o investimento nesta intervenção possuía um orçamento restrito, o que levou a um outro desafio, pesquisar também materiais de baixo custo.

4. ESTUDO DOS MATERIAIS PARA O TRATAMENTO DOS AMBIENTES

São basicamente dois tipos de materiais acústicos utilizados no tratamento de ambientes, os absorvedores que tem melhor desempenho na transformação mecânica da energia sonora em térmica e os ressonadores, que tem melhor desempenho atenuando o nível de pressão. Atualmente podemos contar com uma grande diversidade de materiais acústicos com características absorvedoras disponíveis no mercado. Quanto aos ressonadores, raramente são encontrados prontos no mercado, restringindo-se a projetos específicos. Portanto, cabe ao projetista criar elementos a serem adaptados de acordo com a peculiaridade de cada ambiente.

Selecionou-se, então, alguns materiais disponíveis no mercado para observarmos seu desempenho e custo conforme tabela 03.

Tabela 03 – Coeficiente de absorção sonora e custo de materiais disponíveis no mercado

| | 125 Hz | 500 Hz | 2000 Hz | Custo / m ² (R\$) |
|------------------------------------|--------|--------|---------|------------------------------|
| Espuma de Poliuretano X (5cm) | 0,15 | 1,00 | 0,91 | 85,00 |
| Espuma de Poliuretano Y (5cm) | 0,19 | 1,07 | 1,08 | 92,37 |
| Espuma de Poliuretano X (7,5cm) | 0,20 | 0,95 | 0,98 | 88,00 |
| Espuma de Poliuretano Y (7,5cm) | 0,11 | 0,70 | 1,00 | 86,38 |
| Painéis de lã de vidro para parede | 0,26 | 1,02 | 0,54 | 90,00 |
| Painéis de lã de vidro para forro | 0,46 | 0,85 | 0,90 | 125,00 |

Esses materiais se mostram bastantes eficientes em relação ao seu desempenho acústico, porém, com custo muito elevado. Considerando que os ambientes em estudo são utilizados por um número grande de alunos, o que exige uma reposição e manutenção constante dos materiais e, que a área de superfície a ser recoberta é de 300,00 m² para os dois ambientes, ou seja, muito grande, a aplicação desse tipo de material se torna inviável.

Percebeu-se a necessidade de aperfeiçoar o conhecimento na utilização de materiais alternativos, sobretudo, para ampliar as opções de mercado. A utilização de materiais reaproveitados com função de absorção e/ou atenuação sonora não é exclusivo da contemporaneidade, tem-se notícia do uso de vasos funcionando como ressonadores na antiguidade em teatros gregos e romanos, diminuindo ou ampliando o tempo de reverberação (BRUEL, 1951).

Desta forma, iniciou-se a pesquisa de materiais desenvolvidos com o objetivo do reaproveitamento de materiais descartados que apresentassem tecnicamente possibilidade de serem produzidos, além de manter uma qualidade compatível à dos convencionais. Evidenciou-se neste campo as fibras naturais, onde a matéria-prima é abundante, caso do Brasil. Nessa linha encontrou-se um material industrializado elaborado com fibra de madeira *Pinus* mineralizada banhada com cimento Portland, nas dimensões de 1,25 x 1,25 m, com espessura de 15 a 18 mm. Este material é incombustível e possui

superfície rugosa que, com o acabamento natural pintado, apresenta uma absorção de 0,92 a 125 Hz, 0,98 a 500 Hz e 0,46 a 2000 Hz.

Outro caminho para alcançar esta meta, está na reutilização de materiais de descarte que, conforme estudos desenvolvidos pela Universidade Federal de Santa Maria, podem contribuir tanto com a melhoria do conforto acústico de ambientes, quanto com a diminuição de lixo no meio ambiente, como é o caso das garrafas Pet, apresentando um custo-benefício satisfatório (SANTOS, 1998).

Comparando o comportamento de materiais como fibra de coco, borracha moída, casca de arroz, caixa de ovos e outros, a garrafa PET apresentou-se com um elevado coeficiente de absorção em todas as frequências fundamentais, sendo que mantém uma uniformidade nessa absorção, tanto no grave quanto no agudo, ou seja, 0,55 a 125hz; 0,60 a 500hz e 0,70 a 2000hz.

5. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Optou-se pelo tratamento diferenciado de cada ateliê, com o objetivo de comparar a eficiência dos resultados entre dois tipos de materiais, um industrializado e outro com material de descarte.

5.1 Material Industrializado de Baixo Custo

O ateliê 01 recebeu um tratamento com o material industrializado através de placas de fibra de madeira reciclada. Para a execução desse trabalho foi necessária mão-de-obra especializada.

5.1.1 Execução do Projeto

O local foi previamente medido, sendo calculada a quantidade do material a ser utilizado para que fosse forrado todo o teto, totalizando 169,00 m².

Foram colocados os perfis metálicos em toda a lateral da sala conforme figura 03.

Em seguida achou-se o meio de uma das paredes laterais para iniciar a colocação das ripas onde foram fixadas as placas.



Figura 03 - Colocação dos perfis; início da montagem das placas

As ripas e as placas foram fixadas simultaneamente, conforme figura 04. Nas laterais, foi necessário fazer um recorte para dar o formato curvo.

Para a montagem das placas em forma de banners, fixou-se uma canaleta metálica e parafusou-se placas de tamanhos diferenciados, com uma distribuição irregular (Figura 04).



Figura 04 - Fixação das placas nas ripas; colocação dos banners; resultado final

5.2 Material de Descarte

O ateliê 02 foi tratado com as garrafas Pet, através de oficinas que envolveram a participação de alunos e funcionários durante o I Encontro de Arquitetura e Urbanismo da UNIMEP, em agosto de 2002. As garrafas funcionam como ressonadores, atenuando o som.

5.2.1 Execução do Projeto

A partir de experimentações práticas que variavam em forma e quantidade de garrafas utilizadas, optou-se pelo desenvolvimento de um módulo (com 40 garrafas) em forma de espiral pela sua facilidade de execução e melhor estabilidade apresentada no momento de sua fixação no teto, sendo necessário à confecção de 190 módulos para preencher toda a área do teto a fim de alcançar o tempo ótimo de reverberação do ambiente.

5.2.2 Organização do Material Necessário a Execução do Projeto

Para o desenvolvimento da oficina foi necessária a seleção do material em condições adequadas e quantidade suficiente para a execução dos módulos (40 garrafas PET, 21m de barbante e 11m de arame por módulo), além da elaboração de pôsteres explicativos sobre a tecnologia proposta, utilizados na explanação aos participantes.

5.2.3 Execução do Módulo

Colocam-se 40 garrafas deitadas e enfileiradas (Figura 05). Corta-se 14m de barbante e enrola-se cada uma das extremidades, para facilitar a execução em um bastão de madeira até atingir-se 7m de barbante enrolado em cada um dos bastões.

Amarra-se a base das garrafas com o barbante que foi enrolado posicionando-o no meio da primeira garrafa para envolvê-la (Figura 05); dá-se dois nós em seguida procedendo da mesma forma até o término das 40 garrafas;

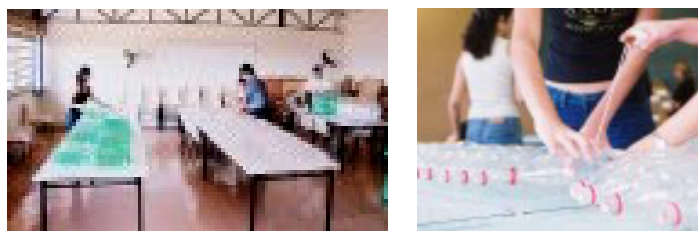


Figura 05 - Garrafas deitadas e enfileiradas; execução da amarração da base

Enrolam-se as garrafas amarradas umas em torno das outras (Figura 06), com início a partir da primeira que foi amarrada, em um movimento formando um espiral que será finalizado com um nó entre a última garrafa e o módulo já formado e colocado com os gargalos das garrafas para cima;

Para melhor estabilidade do módulo, executa-se uma trama em forma de “X” entre os gargalos das garrafas seguindo o espiral formado, criando uma amarração (Figura 06).



Figura 06 - Movimento em forma de espiral, execução da trama em X; amarração

Para finalizar, o módulo é envolvido por uma estrutura de fixação em arame (Figura 07) formada por 03 seções longitudinais posicionadas equidistante uma das outra, sendo que cada uma apresenta dois pontos de fixação localizados no gargalo das garrafas, gerando assim uma estrutura com um ponto de apoio no encontro das seções.



Figura 07 - Estrutura de fixação em arame; módulo pronto

5.2.4 Fixação dos Módulos

Pelo fato do teto ser de concreto, ripas de madeira foram colocadas no mesmo paralelamente 0,70m de distância uma das outras (diâmetro médio dos módulos), a fim de facilitar a fixação de cada módulo, sendo um tangente ao outro, que se deu pelo ponto de apoio gerado pela estrutura de arame em ganchos aparafusados nas ripas (Figura 08).



Figura 08 - Ripas para a fixação dos módulos; fixação dos módulos; módulos fixos

6. CONSIDERAÇÕES

Tecnicamente, o tempo de reverberação foi alcançado através de cálculos, conforme resultados apresentados na tabela 04 a seguir.

Tabela 04 - Tempo de Reverberação alcançado

| | 125 Hz | 500 Hz | 2000 Hz |
|-------------------------|--------|--------|---------|
| Ateliê 01, Garrafas PET | 0,91 | 0,82 | 0,73 |
| Ateliê 02, Forrofort | 0,62 | 0,57 | 0,86 |

Após a execução dos projetos, efetuou-se novamente o teste de inteligibilidade adaptado de MINANA, 1969, constatou-se benefício de 5% a 20%. Apesar da pouca melhoria acústica proporcionada pelas garrafas PET, houve uma melhora significativa na percepção dos usuários com relação ao equilíbrio acústico. Uma maior eficiência desse material pode ser alcançada com a combinação de outros materiais e o aperfeiçoamento técnico-acústico de montagem e segurança com relação ao incêndio. O produto Forrofort apresentou uma melhoria acústica e estética significativa ao ambiente, além de ter seu custo com um valor 3,5 vezes inferior aos materiais convencionais.

7. CONCLUSÃO

O ambiente físico deve ser adequadamente projetado para atender com eficiência as atividades para qual se destina, desta forma, devem estar contemplados na proposta de projeto os fatores que podem interferir no ambiente causando desconforto aos seus usuários. Neste caso, por exemplo, a dispersão do aluno em sala de aula e o desgaste do professor, conseqüentes da inadequada acústica do ambiente, degradam a finalidade do ensino e da aprendizagem.

Assim, para que possa minimizar os problemas de conforto ambiental é fundamental a contribuição de profissionais envolvidos na área da construção civil no sentido de encontrar caminhos alternativos para dar apoio técnico aos projetos arquitetônicos, sem onerar o custo da obra, porém buscando a qualidade do ambiente construído.

No campo da acústica arquitetônica ainda há muita contribuição a ser feita por profissionais especializados. No Brasil, pôde-se identificar lacunas no mercado que apontam para a necessidade do aproveitamento de diferentes materiais e da criação de novos sistemas a serem utilizados na construção civil. O reaproveitamento de materiais recicláveis a fim de criar produtos prontos para serem aplicados na obra e que tenham baixo custo é relevante tanto para a viabilidade de melhorias nos diferentes tipos de edifícios, quanto para os problemas de resíduos no meio ambiente.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os participantes na realização desta experiência, aos funcionários, alunos e especialmente a Fernanda Balancin, Juliana Colleone, Luciana Motta, Renata Aguiar e Victório Rojas.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHA. *Guidelines for Acoustics in Educational Environments*. American Speech and Hearing Association, 37, Suppl., 1995. 14,15-19.

BRUEL, P.V. *Sound Insulation and room acoustics*. Chapman & Hall Ltd., London, 1951 p. 113.

MINANA, José Perez. *Compendio practico de acústica aplicada*. Barcelona. 1969.

NBR 12179. *Tratamento acústico em recintos fechados*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Nov. 1988.

PICARD, M., BRADLEY, J. S. *Revising speech interference by noise in classroom and considering some possible solution*. <http://www.acoustics.org/133r/2paaa3.html>. 08/04/1999.

SANTOS, Jorge Pizzutti; KUDIESS, Denis. Desenvolvimento de absorvedores sonoros alternativos para aplicações em ambientes de grandes dimensões e em correções acústicas temporárias. I CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA - I SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL – 18º ENCONTRO DA SOBRAC. *Anais...* Florianópolis, /SC/. 1998

SANTOS, M. J. & SLAMA, J. G. O. Ruído no ambiente escolar: causa e consequência. In: II ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. *Anais...* Florianópolis, /SC/ p. 301. 1993.

SERRA, M. R. & BIASSONI, E, C. Influência de los parâmetros acústicos de recintos escolares em los procesos de compresion y memorizacion. In: VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. *Anais...* Florianópolis, /CE/ p. 361. 1993.

SILVA, Pérides. *Acústica arquitetônica & Condicionamento de Ar*. Editora Termo Acústica LTDA, 3º Edição. Belo Horizonte, MG. 1997.