

CARACTERÍSTICAS ABSORVEDORAS DE UM PROTÓTIPO SUSTENTÁVEL FABRICADO EM FIBRA DE COCO E REVESTIDO EM PALHA DE BANANEIRA

Maria Lúcia G. R. Oiticica (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)

(1) Doutora, Profª da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFAL, mloiticica@hotmail.com

(2) Doutora, Profª da Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP-SP, rolla@fec.unicamp.br

Universidade Federal de Alagoas-UFAL, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação Dinâmicas do Espaço Habitado (DEHA), Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió, AL.

Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Construção, Pós-Graduação Arquitetura, Tecnologia e Cidades, Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, São Paulo.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar a característica absorvedora de um protótipo sustentável fabricado em fibra de coco de 25 mm e revestido com laminado em palha de bananeira natural. A metodologia aplicada constituiu na análise de uma protótipo fabricada em fibra do coco com 25mm de espessura e revestida na sua parte superior com palha da bananeira. Foram investigadas quatro configurações ao serem colocadas em uma câmara reverberante: duas situações com o protótipo com a palha da bananeira na parte superior (PB) e outro com o mesmo protótipo com a palha da bananeira colocada na parte inferior (PBI). As mesmas situações foram repetidas quando esses exemplos foram colocados montados sobre caibros com plenum de 25 mm (PBP e PBIP). Os resultados mostraram coeficiente de absorção entre 0,48 a 0,68. Os valores com plenum apresentaram melhor absorção do que sem os mesmos. Os testes com a fibra do coco, ao ser colocada com sua parte para cima, apresentaram melhores absorções. Pode-se concluir que os materiais sustentáveis fabricados em coco e palha de bananeira podem ser inseridos no mercado por apresentar uma boa absorção sonora como também tem uma excelente qualidade por não serem materiais tóxicos.

Palavras-chave: design, materiais sustentáveis, absorção sonora, fibra de coco, palha de bananeira.

ABSTRACT

This work aims to investigate the absorbing characteristic of a sustainable prototype manufactured in 25 mm coconut fiber and coated with laminate in natural straw banana. The methodology applied constituted of a sample made of coconut fiber 25 mm thick and coated on its top with straw banana. Four configurations were investigated by being placed in a reverberation room: Two situations with the prototype with straw banana on top (PB) and another with the same prototype with straw placed on banana bottom (PBI). The same situation was repeated when these examples were placed mounted on rafters with 25 mm plenum (PBP and PBIP). The results showed absorption coefficient of 0.48 to 0.68. The values presented plenum better absorption than without them. The fiber of coconut to be placed its top up showed the best absorption. It can be concluded that sustainable materials made of coconut and banana straw can be inserted in the market by presenting a good sound absorption but also has an excellent quality because they are not toxic materials.

Keywords: design, sustainable materials, sound absorption, coconut fiber, banana straw.

1. INTRODUÇÃO

A prática da sustentabilidade pode representar uma atividade complexa que sugere às empresas a adoção de metodologias que possibilitem a plena execução de suas atividades sem deteriorar o meio ambiente, contribuindo assim para o crescimento econômico e parcerias regionais para o desenvolvimento humano. Segundo Martins et al. (2013), a natureza é a maior fonte de extração de matérias-primas para a fabricação de artigos industrializados, entretanto, a alta demanda por produtos faz com que a biosfera se encontre cada dia mais ameaçada. A proposta do consumo consciente incentiva os consumidores a optarem por produtos originários de materiais ecológicos. Para atender às necessidades da sociedade como um todo, a cada dia surge novas propostas de extração e utilização das matérias-primas adequando o design aos princípios de sustentabilidade.

Segundo Santos (2006) a crise energética, ocorrida nos últimos anos, impulsionou a revalorização das fibras naturais como alternativa às fibras sintéticas. A dedicação tanto da indústria quanto a comunidade científica, ocorre devido a fatores como a abundância na natureza, a origem renovável, o fácil processamento e o baixo custo, que caracterizam vantagens em relação aos problemas ambientais consequentes do uso de fibras sintéticas.

Sachs (2007) acredita que o aproveitamento racional dos recursos naturais para suprimento de todas as operações humanas contribui para o gerenciamento das atividades antrópicas da biosfera. Em especial, no caso de países tropicais que detém de possuir recursos naturais suficientes para transformar oportunidades em sustentabilidade.

1.1. A fibra do coco

Entre os períodos de 1990 a 2009, segundo Martins e Junior (2011), o Brasil passou do décimo ao quarto maior produtor mundial de coco e com perspectivas de crescimento tanto na produtividade quanto na abrangência do mercado. A demanda mundial de fibra cresceu principalmente em razão do interesse desses produtos no mercado dos países ocidentais. Segundo Aragão W.; Santos V.; Aragão F. (2005), a tendência mundial é transformar, esses produtos que não causam impacto ambiental, como é o caso da fibra dos produtos do coco, a passarem da sua atual condição de subproduto.

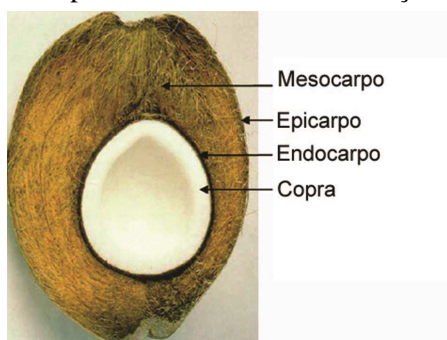


Figura 1 – Corte longitudinal do coco e suas partes.
Fonte: MARTINS et al , 2013.

As fibras do coco são da classe lignocelulósicas, compostas principalmente por celulose e lignina. É extraída do mesocarpo fibroso da fruta, possível de ser visualizada na secção transversal da fruta apresentada na figura 1. A lignina é a responsável pela sustentação, força e resistência mecânica das fibras vegetais. Entre as propriedades do coco-verde, observam-se também a baixa densidade, maleabilidade, porosidade e retenção de água.

Na Índia, a maior produtora de coco do mundo, é possível encontrar uma imensa variedade de produtos manufaturados a partir de fibra de coco. Os fios de fibra de coco são grossos, de espessura variada e irregular, devido a maior parte da fiação ser realizada manualmente em maquinário simples e de tecnologia diferente do convencional (MARTINS et al, 2013).

No Brasil, a fibra de coco era utilizada na fabricação de estofados de automóveis desde a década de 1970, mas perdeu espaço para o poliuretano nos anos de 1990 (SANTOS, 2006). Martins et al (2013) descreve muito bem quando menciona que atualmente o setor de maior representatividade na qual utiliza a fibra do coco é o de paisagismo e jardinagem devido a excepcional adaptação em substituição ao xaxim de *samambaiçu*. Outras possíveis aplicabilidades da fibra de coco-verde encontram no setor moveleiro, calçadista, design de objetos para o lar, compósitos, combustíveis, papelaria, embalagens, fabricação de enzimas, construção civil, filtros industriais e geotêxteis. A figura 2 apresenta exemplos de design a partir de fibra do coco.



Figura 2 – Artigo de paisagismo (1), colchão (2), solado de calçado (3), compósito termo-rígido (4), geotêxtil (5) Fonte: MARTINS et AL (2013)

1.2. A palha da bananeira

A palha da bananeira é a matéria prima utilizada no artesanato, proveniente naturalmente pela planta, conferindo assim a sua capacidade de um produto sustentável. A palha da bananeira é produzida a partir das bainhas foliares extraídas do pseudocaule da bananeira, que equivale ao seu tronco (figura 3 e 4). O corte faz parte do cultivo da banana, após a colheita dos cachos costuma-se retirar a bananeira mãe para que haja mais espaço para o crescimento das outras.



Figura 3 – Palha da bananeira



Figura 4 – Pseudocaule da bananeira e secagem das fibras da palha da bananeira.

Do pseudocaule da bananeira é possível extrair vários tipos de palhas, cada uma com uma característica diferente. As palhas mais finas chamadas de filé e contrafilé são utilizadas para dar acabamento, costurar, adornar, já as mais grossas ou a palha inteira são aproveitadas para trabalhos mais rústicos (figura 3). Das três camadas que é constituída a palha inteira, retira-se a palha interna, menos resistente, a redinha que é toda vazada e a palha raspada, extremamente resistente. O próximo passo na preparação da palha de bananeira é a secagem das fibras (figura 4). Após serem separadas, as fibras são penduradas ou esticadas ao sol para secar. Para isso, são necessários um lugar a céu aberto e outro protegido da umidade, já que elas não podem ter contato com chuva e orvalho.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo investigar a característica absorvedora de um protótipo sustentável fabricado em fibra de coco de 25 mm e revestido com laminado em palha de bananeira natural a fim de contribuir com o design local na inserção do aproveitamento de resíduos sólidos na fabricação de produtos acusticamente corretos e competitivos no mercado brasileiro.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada deste trabalho está dividida em quatro etapas principais:

1. Caracterização do objeto de estudo.
2. Ensaios em Câmara Reverberante.
3. Análises e diagnósticos
4. Conclusão

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O protótipo selecionado constitui de um material desenhado e fabricado por um designer residente em Maceió - Alagoas, o qual busca integrar em seus produtos: sustentabilidade, design e acústica. As pesquisas para desenvolvimento deste e de outros produtos que estão sendo desenvolvidos por esse designer através de substratos naturais tem a colaboração técnica Da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFAL através do GEAS (Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro, vinculados ao CNPQ) e do Laboratório de Acústica da FEC – Unicamp-SP. Os produtos a serem desenvolvidos visam utilizar a matéria prima do coco local existentes em abundância como também estimular a atividades de comunidades carentes do nordeste alagoano através do manuseio da palha da bananeira através de programas de beneficiamento de geração de renda. A estratificação e utilização destes produtos passam a contribuir com o aproveitamento de resíduos sólidos existente na região.

O protótipo utilizado constitui de varias camadas: a) fibra de pseudocaule da bananeira colada em tela de algodão (figura 5) e fibra de coco natural prensada com tratamento especial retardante ao fogo (figura 6). Vale salientar que as fibras de coco são materiais naturais que se enquadram nos padrões de conforto, sustentabilidade e segurança uma vez que seu material não é tóxico.

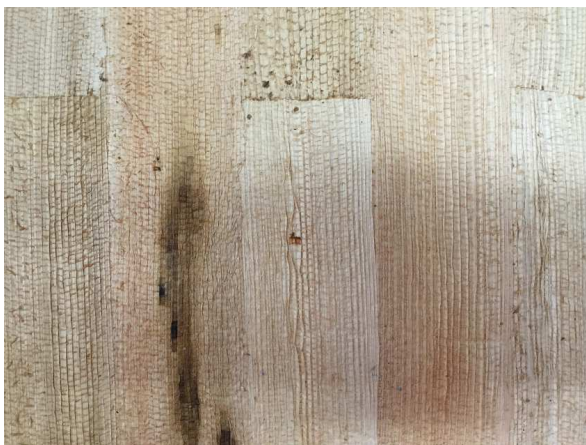


Figura 5 – Fibra de pseudocaule da bananeira.



Figura 6 – Fibra de coco natural prensada com tratamento especial de retardante ao fogo.

3.2. Ensaios em câmara reverberante

Os procedimentos investigativos foram realizados na câmara reverberante da FEC/UNICAMP-SP com colaboração e apoio do Laboratório de Conforto Ambiental. A câmara reverberante utilizada apresenta um volume de 71,80m³. Na ocasião das medições foi observada a temperatura de 25°C, umidade de 68% e pressão de 92,7 KPa. Os dados das suas dimensões internas podem ser observados conforme apresentados na figura 7.

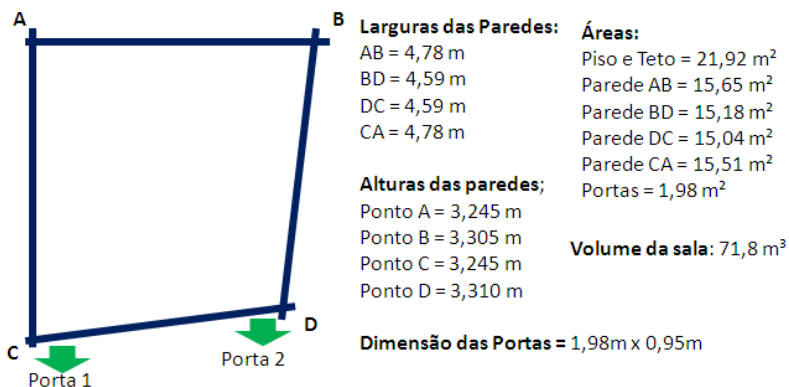


Figura 7: Características da câmara reverberante da UNICAMP-SP – Laboratório de Conforto Ambiental

3.2.1. As configurações selecionadas para investigação

Para serem realizados os testes do objeto de estudo na câmara reverberante, foi necessária a verificação da norma BS EN 354:2003 que trata dos procedimentos de medição da absorção sonora em ambientes reverberantes. O objeto de estudo constituiu de placas moduladas medido 0,42m x 0,42m. Para serem iniciados os testes foram inseridos no ambiente 30 placas do material perfazendo uma fileira retangular com razão aproximada entre comprimento e largura de 0,7 e 1, isto é, 07 por 05 elementos, isto é 3,00m x 2,14m, com um total de 6,42 m². Para a montagem das amostras sobre os caibros, a figura 14 apresenta o enfileiramento dos mesmos.

Para as investigações, foram selecionadas as seguintes configurações:

- Configuração PB:** Protótipo fabricado em lamina feito em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada diretamente no chão (figura 9);
- Configuração PBP:** Protótipo fabricado em lamina feito em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada sobre caibros existindo um plenum de 25 mm (figura 10);
- Configuração PBI:** Protótipo fabricado em lamina feito em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada com módulos invertido com área de fibra de coco na parte superior (figura 11);
- Configuração PBIP:** Protótipo fabricado em lamina feita em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada com módulos invertidos com área de fibra de coco na parte superior montada sobre caibros existindo um plenum de 25 mm (figura 12);
- Configuração CRV:** Câmara Reverberante vazia (figura 13)



Figura 9 – **Configuração PB** Protótipo fabricado em lamina feita em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada diretamente no chão



Figura 10 – **Configuração PBP:** Protótipo fabricado em lamina feita em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada sobre caibros existindo um plenum de 25 mm



Figura 11 – *Configuração PBIP*: Protótipo fabricado em lamina feita em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada com módulos invertidos com área de fibra de coco na parte superior montada sobre caibros existindo um plenum de 25 mm



Figura 12 – *Configuração PBIP*: Protótipo fabricado em lamina feita em palha bananeira fixada em lamina de algodão e prensada em placa de fibra de coco com 25 mm. Essa situação foi montada com módulos invertidos com área de fibra de coco na parte superior montada sobre caibros existindo um plenum de 25 mm



Figura 13 - *Configuração CRV*: Câmara reverberante vazia



Figura 14 – Engradado dos caibros onde seriam montadas as amostras.

3.2.2. Procedimento de medição

Para avaliação das características absorvedoras das diversas configurações estudadas do protótipo investigado foi utilizado o Sistema Building Acoustics da Brüel & Kjaer (figura 15), composto por fonte omnidirecional, amplificador e analisador de frequência em tempo real (Investigator 2260). Os procedimentos de medição foram definidos com base nas informações do fabricante do equipamento e nas recomendações da norma internacional BS EN 354:2003, que retrata dos procedimentos de medição da absorção sonora em ambientes reverberantes.

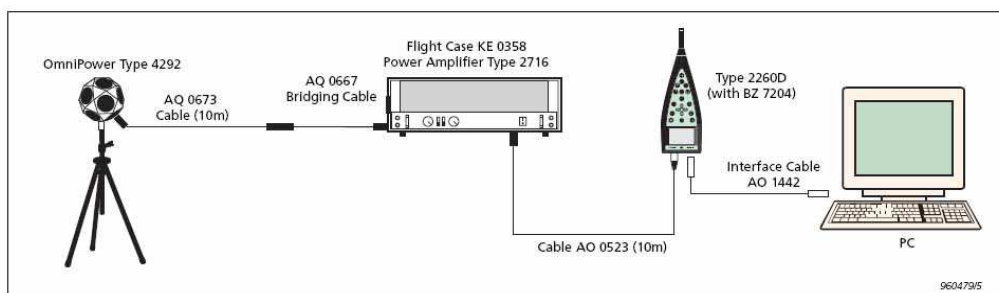


Figura 15 – Sistema Building Acoustics, modificada (BRÜEL & KJÆR, 2006)

Os pontos importantes do procedimento adotado foram:

- **Ruído:** Ruído gerado por alto-falante com ruído branco;
- **Posição da Fonte Sonora:** A fonte sonora foi colocada na câmara reverberante em duas posições diferentes (F1 e F2) localizadas a 0,50m de distancia do eixo das paredes “B” e “C” (figura 16), A altura estabelecida das mesmas foi de 1,13m;
- **Localização do Microfone:** Conforme recomenda a norma BS EN 354:2003, foram selecionados para cada posição da fonte quatro pontos perfazendo um total de oito pontos avaliados. Com a fonte na posição “F1” foram selecionados os pontos M1, M2, M3 e M4. Na posição da fonte “F2” foram selecionados os pontos M1, M2, M4 e M5. Como as reflexões causadas pelas paredes podem gerar variação no nível de pressão sonora dentro do ambiente, em cada ponto foram registrados três repetições. As distâncias mínimas obedecidas do microfone foram: 1,0m para a amostra, 1,0m da superfície e 2,0m da fonte. Os resultados são calculados como uma média espacial. A figura 16 mostra o posicionamento dos microfones no interior da edificação.

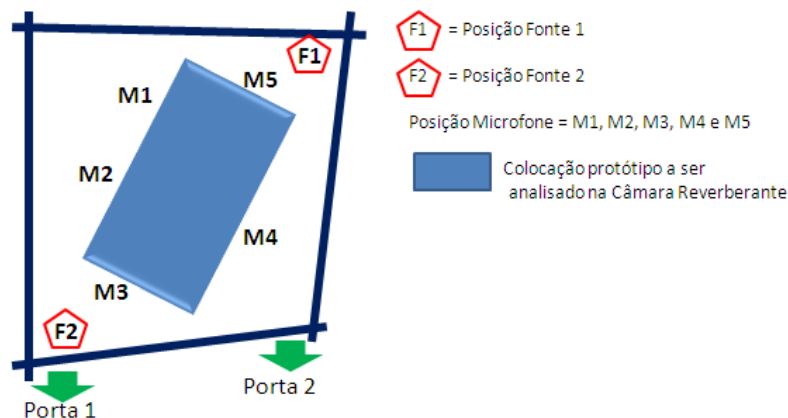


Figura 16 – Planta esquemática da câmara reverberante com posições da fonte (F1 e F2) , microfones (M1, M2, M3, M4 e M5) e prototipos para ensaio.

3.2.3. Determinação do coeficiente de absorção

Para determinação do coeficiente de absorção de cada configuração investigada foi necessário encontrar o tempo de reverberação da câmara reverberante nas diversas situações nas frequências de 100Hz a 5000Hz e após encontra-lo. O coeficiente de absorção é dado pela equação 1:

$$\alpha = \frac{0,161V}{S1} \left(\frac{1}{T2} - \frac{1}{T1} \right) + \bar{\alpha} \quad \text{Eq.1}$$

Onde:

T1 = Tempo de reverberação da câmara vazia (s);

T2 = Tempo de reverberação com amostra (s);

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente de absorção;

V = Volume do ambiente (m³);

S1 = Área da amostra em m².

3. ANÁLISE E DIAGNÓSTICO

Os dados do tempo de reverberação em segundos nas diversas configurações investigadas podem ser encontrados na tabela 1. Observa-se que a inserção de materiais absorvedores na sala reverberante passa ter significância uma vez que o tempo de reverberação nas diversas frequências foi modificado e assim contribuem para alterações sonoras no ambiente.

Tabela 1– Tempo de reverberação (s) das diversas configurações avaliadas na câmara reverberante.

Tempo de reverberação (s)					
Frequência (Hz)	Configurações				
	Sala Vazia (SV)	Palha bananeira (PB)	Palha bananeira montada em caibros (PBC)	Palha bananeira invertida (PBI)	Palha bananeira invertida montada em caibros (PBIC)
100	9,83	6,29	5,74	6,8	6,39
125	8,89	5,58	5,17	5,83	5,11
160	7,16	5,54	5,29	5,4	4,88
200	7,49	4,23	3,95	4,52	3,97
250	6,59	3,2	2,8	3,74	3,33
315	6,02	2,43	1,98	3,28	2,82
400	5,25	1,86	1,51	2,65	2,25
500	4,27	1,33	1,38	2,07	1,75
630	3,72	1,26	1,42	1,71	1,47
800	3,43	1,42	1,69	1,47	1,18
1 k	3,41	1,72	1,89	1,32	1,21
1,25 k	3,47	2,17	2,19	1,24	1,27
1,6 k	3,54	2,41	2,38	1,23	1,24
2 k	3,13	2,38	2,35	1,19	1,21
2,5 k	2,77	2,23	2,14	1,17	1,23
3,15 k	2,47	2,09	2,01	1,16	1,2
4 k	2,25	1,96	1,84	1,17	1,18
5 k	1,9	1,73	1,67	1,07	1,07

A próxima etapa da análise foi, fazendo uso da equação 1, o coeficiente de absorção das configurações avaliadas foram encontrados (tabela 2 e figura 17).

Avaliando a *Configuração PB*, observa-se que nessa situação, o material investigado possui absorção mediana. Dentre os módulos avaliados, essa configuração PB obteve os valores mais baixos, com NRC (média de 250, 500, 1000 e 2000 Hz divididos por 4) de 0,48. A implantação de um plenum de 25 mm utilizados na *Configuração PBP* indicam que esse material apresenta uma melhora significativa pois seu NRC apresenta melhor desempenho chegando a 0,62. Conforme pode ser observado na figura 17, o material da configuração PB trabalha mais acusticamente como um painel vibrante onde sua melhor absorção encontra-se nas frequências de 400 Hz e 1K HZ. Para a configuração PBP apresenta um deslocamento da sua absorção para as frequências um pouco mais abaixo que mostra melhor desempenho de absorção nas frequências que vão de 315 Hz a 800 Hz.

Avaliando a *Configuração PBI* observa-se que nessa situação, quando o material é colocado invertendo sua posição (a palha da bananeira para baixo e deixando a fibra de coco para cima) sua absorção é melhorada. Nessa situação o mesmo irá trabalhar acusticamente como um material absorvedor uma vez que as características do seu gráfico apresentam um material com pouca absorção na baixa frequência e boa absorção nas altas frequências principalmente a partir de 600 Hz. A colocação do plenum de 25 mm inseridos nessa situação (*Configuração PBIP*) revela mais uma vez a melhora da absorção nas frequências um pouco mais baixa, isto é, de 500 Hz a 5000 Hz. A configuração PB apresentou uma melhora no NRC pois o mesmo foi de 0,60 e a configuração PBP com NRC de 0,68.

Tabela 2 – coeficiente de absorção das diversas configurações avaliadas na câmara reverberante..

[Hz]	Palha bananeira (PB)	Palha bananeira montada em caibros (plenum 25mm) (PBP)	Palha bananeira invertida (PBI)	Palha bananeira invertida montada em caibros (plenum 25mm) (PBIP)
100	0,10	0,13	0,08	0,10
125	0,12	0,14	0,11	0,15
160	0,07	0,09	0,08	0,12
200	0,18	0,21	0,16	0,21
250	0,29	0,37	0,21	0,27
315	0,44	0,61	0,25	0,34
400	0,62	0,84	0,33	0,45
500	0,93	0,88	0,44	0,60
630	0,94	0,78	0,56	0,74
800	0,74	0,54	0,69	0,99
1 k	0,52	0,42	0,83	0,95
1,25 k	0,31	0,30	0,93	0,89
1,6 k	0,24	0,25	0,95	0,94
2 k	0,18	0,19	0,93	0,91
2,5 k	0,16	0,19	0,88	0,81
3,15 k	0,13	0,17	0,82	0,77
4 k	0,12	0,18	0,73	0,72
5 k	0,09	0,13	0,73	0,73
NRC	0,48	0,62	0,60	0,68

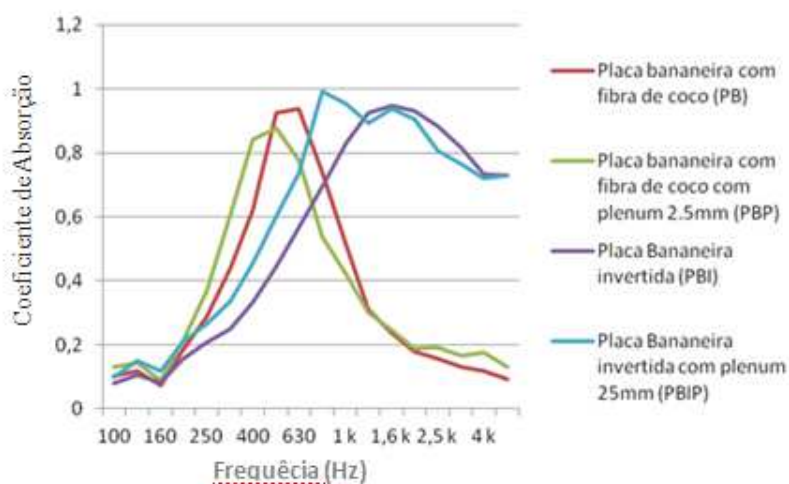


Figura 17 – Coeficiente de absorção das diversas configurações analisadas

Nessas avaliações pode-se observar que o design do produto pode ser explorado e melhorado através do entendimento e conhecimento das características absorvedoras do material.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível verificar a importância do conhecimento e domínio do coeficiente de absorção dos materiais utilizados no mercado. Um mesmo protótipo, composto por materiais absorvedores variados, podem sim contribuir para a qualidade acústica dos recintos. A importância do conhecimento teórico acústico para a fabricação desses produtos é fundamental. Os testes retratam que o produto avaliado quando aplicado de maneira diferenciada contribui com vários índices de absorção do som. Ficou claro nesse trabalho a importância das características acústicas absorvedoras da palha da bananeira e da fibra do coco. O protótipo quando fabricado com a palha da bananeira e a fibra de coco colabora com um NRC de 0,48. Esse material ao ser implantado com um plenum de 25 mm sobre uma parede, melhora consideravelmente indo o NRC para 0,62. O mesmo protótipo, ao ser invertida a posição da fibra do coco, colocando a fibra do coco na face superior, o desempenho da absorção sonora apresentado passou para um NRC de 0,60 e de 0,68 com um plenum de 25 mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO, Wilson Meneses et al. **Produção de fibra de cultivares de coqueiro**. Aracaju: Embrapa, 2005. 4 p. Comunicado Técnico n. 36. Disponível em : <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes/_2005/cot-36.pdf>. Acesso em: 18 de abril de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987.
- BRITISH STANDARD. **BS EN ISO 354:2003**. Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room.
- INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION- **ISO 140-4/1998**: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Geneve, 1995.
- _____. **ISO 140-5**: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades. Geneve, 1998.
- _____. **ISO 717-1**: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of buildings elements – Part 1: Airborne sound insulation. Geneve, 1996.
- MARTINS, Adriana P.; WATANABE, Toshiko; BORELLI, Camilla; MARCICANO, João Paulo Pereira; SANCHES, Regina Aparecida; Aproveitamento de fibra de coco verde para a aplicabilidade têxtil. **Redige** v.4, n.02, ago. 2013.
- SANTOS, A. M. Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. 2006. 90f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: http://www.pgmecc.ufpr.br/_dissertações/dissertacao_078_alexandresantos.pdf acesso em 18 de abril de 2015.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.