



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS FABRICADOS A PARTIR DE FIBRAS VEGETAIS EM CÂMARA REVERBERANTE EM ESCALA REDUZIDA

Leopoldo Pacheco Bastos, leopan23@gmail.com¹
Gustavo da Silva Vieira de Melo, gmelo@ufpa.br¹
Newton Sure Soeiro, nsоеiro@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, nº 1

Resumo: Atualmente a poluição sonora, em nível mundial, só não é mais grave do que a poluição do ar e da água. No Brasil a situação não é diferente, pois se estima que mais de 15 milhões de pessoas apresentem algum grau de deficiência auditiva devido a este problema ambiental. Dispositivos acústicos como painéis, barreiras, etc., quando de alta eficiência, geralmente, são de custosa aquisição, tornando, em muitas vezes, inviável sua utilização, principalmente, por empresas de pequeno porte e orçamento limitado. Assim, soluções alternativas, a começar por novos materiais, que sejam menos custosos e possuam desempenho satisfatório, como painéis fabricados a partir de fibras vegetais, por exemplo, surgem como uma ótima opção caso propostas tradicionais sejam inviabilizadas devido ao custo. Portanto, é preciso determinar seus coeficientes de absorção sonora, avaliar suas possíveis formas de aplicação e comparando seu desempenho com o de materiais já consolidados no mercado. Além disso, considerando as tendências ambientais globais, a utilização de fibras vegetais é uma boa oportunidade para agregação de valor às referidas fibras, contribuindo com o desenvolvimento tecnológico do país, já que estes materiais são de fácil obtenção, existem em abundância, não são tóxicos e provêm de fontes renováveis. Este trabalho avalia o desempenho de painéis de fibras vegetais, a partir de ensaios realizados em câmara reverberante em escala reduzida, baseando-se na norma ISO 354/1999. Os dados de coeficiente de absorção sonora dos painéis são obtidos através de um analisador de frequências utilizando-se o Método da Interrupção do Ruído. A comparação entre os resultados obtidos para os painéis de fibras e os materiais convencionais ensaiados permite concluir que o desempenho acústico demonstrado por alguns painéis é muito satisfatório, uma vez que seus coeficientes de absorção sonora foram compatíveis, e em alguns casos superiores, àqueles apresentados pelos materiais convencionais em determinada faixa de frequência.

Palavras-chave: Poluição Sonora, Soluções Alternativas, Painéis de Fibras Vegetais, Desempenho Acústico.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas. Estas, quando submetidas a níveis exagerados de ruído, podem ser fisiológica e/ou psicologicamente lesionadas, podendo apresentar estresse, dificuldades mentais e emocionais, e até perdas auditivas progressivas, muitas das vezes irreversíveis. Assim, o que antigamente era restrito a situações ocupacionais, hoje é encarado como uma fonte de problemas físicos, psicológicos e sociais (Andrade, 2004).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), no ano de 2007, cerca de 10% da população mundial (mais de 600 milhões de habitantes) já apresentava algum grau de deficiência auditiva. No Brasil, este número era estimado em, aproximadamente, 15 milhões de pessoas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os problemas causados pelo excesso de ruído, não só em ambientes de trabalho, mas em qualquer ambiente, são de conhecimento de muitos, mas pouco é feito para reduzir os níveis sonoros a valores adequados. Descumprimento ou desconhecimento das normas nacionais vigentes que, de alguma forma, estão relacionadas a ruídos, falta de conscientização de empregados e empregadores, falta de campanhas de mobilização nacional, altos custos para adequação de ambientes de trabalho a níveis satisfatórios, entre outros, são fatores que agravam ainda mais a condição atual do país.

Dispositivos acústicos sejam eles painéis, barreiras, etc., quando de alta eficiência, geralmente, são de custosa aquisição, tornando, em muitas das vezes, inviável sua utilização, principalmente, por empresas de pequeno porte e orçamento limitado. Sem falar que a maioria dos produtos utilizados em tratamentos acústicos possui como matéria-prima, materiais provenientes de fontes não-renováveis, muitas vezes sintéticos, como espumas de poliuretano à base de isocianato, por exemplo, e estas, quando em combustão, liberam um gás (gás cianídrico) altamente tóxico. Adicionalmente, os materiais existentes no mercado, ou isolam ou absorvem ondas sonoras, ainda que com diferentes

eficiências, ou seja, aquele material que tem grande poder de isolamento acústico quase não tem poder de absorção acústica, e vice-versa. Outros não possuem nem características de isolamento acústico, tampouco de absorção sonora, como plásticos leves e impermeáveis, por exemplo.

Objetivando amenizar o grau de poluição sonora de ambientes, técnicas de controle de ruído (ativo, passivo e combinado) foram sendo desenvolvidas ao longo dos anos. Técnicas essas que são, em geral, específicas para cada caso e, que, atualmente, esbarram em um aspecto: o custo, ao qual, até então, não se dava a devida importância em razão dos benefícios obtidos através dessas técnicas (Bastos, 2007). Assim, soluções alternativas, a começar por novos materiais acústicos que sejam menos custosos e apresentem desempenho satisfatório, surgem como uma ótima opção caso propostas tradicionais sejam inviabilizadas pelo custo.

Recentemente, vários trabalhos tiveram como objeto de estudo, painéis de fibras vegetais, principalmente no âmbito acústico, pois já se sabe que alguns deles possuem características acústicas satisfatórias quando utilizados para reduzir a reverberação em determinados ambientes fechados (Mafra, 2004; Guedes, 2007; Vieira, 2008; Bastos, 2007). A infraestrutura e os procedimentos necessários para determinar propriedades de painéis acústicos já foram desenvolvidos (Mafra, 2004). Painéis industrialmente fabricados a partir de fibra de coco e látex de diferentes espessuras e densidades (ver Figura 1a) foram ensaiados em câmara reverberante em escala reduzida (ver Figura 1b) e em tubo de impedância (ver Figura 1c) constatando-se que as amostras, em determinadas frequências, possuíam desempenho superior ao de materiais acústicos convencionais (Guedes, 2007; Vieira, 2008).



Figura 1 - (a) Painéis industriais de fibra de coco de diferentes espessuras e densidades ensaiados em (b) câmara reverberante e (c) em tubo de impedância.

Fonte: Vieira, 2008.

Nesse sentido, a busca por novos materiais naturais, com processos industriais simplificados, que possuam menor custo e apresentem desempenho satisfatório, atestado em laboratório, e com êxito reconhecido através de aplicações reais, é necessária para o desenvolvimento de produtos mais acessíveis e com menor impacto ambiental.

2. PAINÉIS DE FIBRAS

Os painéis de fibras vegetais ensaiados neste trabalho foram desenvolvidos artesanalmente (Bastos, 2009) e são classificados em unifibra, multifibras e mesclados. Os painéis unifibra são painéis constituídos por camadas de um único tipo fibra (ver Figura 2a). Já os painéis multifibras são painéis formados por camadas constituídas individualmente, por um único tipo de fibra, havendo, necessariamente, dois ou mais tipos de fibras na composição do painel (ver Figura 2b). E, por sua vez, os painéis mesclados são painéis constituídos por misturas de dois ou mais tipos de fibras em cada camada (ver Figura 2c).



Figura 2 - (a) Painéis artesanais de fibras de (1) dendê, (2) sisal, (3) açaf e (4) coco, (b) painel multifibras de coco/sisal e (c) painel mesclado de dendê/sisal.

Todos os painéis possuíam $0,3 \text{ m}^2$ de área superficial, pois é a área recomendada que uma amostra deve possuir para ser ensaiada na câmara reverberante reduzida utilizada neste trabalho. A maior densidade registrada entre os painéis ensaiados foi de 18 kg/m^3 , enquanto que a maior espessura foi de 30 mm. Os painéis unifibra foram

desenvolvidos no intuito de conhecer as características de cada fibra separadamente, para que outros tipos de painéis (mesclados e multicamadas) pudessem ser feitos, combinando diferentes fibras, na tentativa de corrigir uma possível deficiência ou melhorar alguma propriedade na qual um determinado painel unifibra não apresentou desempenho satisfatório. No entanto, somente algumas combinações foram concebidas haja vista o grande número de combinações possíveis com as fibras aqui trabalhadas e variando-se os parâmetros envolvidos no processo produtivo.

2.1. Caracterização Acústica

A caracterização acústica de um material é feita no intuito de verificar se sua utilização é viável quanto à eficiência, ou seja, define-se quão acusticamente absorvente ou isolante o material é. Perda de Transmissão e Coeficiente de Absorção Sonora são as propriedades que melhor avaliam o desempenho acústico de um material. A Absorção Sonora trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras em um determinado ambiente, ou seja, diminui ou elimina o nível de reverberação desse ambiente. Nestes casos, se deseja, além de diminuir os níveis de pressão sonora do recinto, melhorar o nível de inteligibilidade. Os materiais utilizados para corrigir o nível de reverberação de ambientes são relativamente leves (de baixa densidade), fibrosos ou porosos, como, por exemplo, espumas poliéster de células abertas, fibras cerâmicas, lã de vidro ou de rocha, tecidos, carpetes, etc. Nos materiais fibrosos, a absorção se dá essencialmente pela dissipação de energia sonora por atrito, gerado pelo movimento das moléculas do ar no interior do material, quando a onda sonora incide sobre o mesmo; já nos materiais porosos, a energia acústica incidente entra pelos poros e dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-o em energia térmica. A absorção sonora de um material, dada em metro quadrado (ISO 354/1999), pode ser calculada a partir da Eq. (1):

$$A_a = \frac{55,3V}{c} \left(\frac{1}{\bar{t}_2} - \frac{1}{\bar{t}_1} \right) \quad (1)$$

em que \bar{t}_2 é o tempo de reverberação médio da câmara com amostra em seu interior, expresso em segundos; \bar{t}_1 o tempo de reverberação médio da câmara sem amostra em seu interior, também expresso em segundos; V o volume da câmara reverberante, expresso em metros cúbicos; e c a velocidade do som no meio, expressa em metros por segundo, determinada pela Eq. (2).

$$c = 331 + 0,6T \quad (2)$$

em que T é a temperatura do meio, expressa em graus Celsius.

O coeficiente de absorção sonora (α), parâmetro adimensional, é obtido utilizando-se a Eq. (3) na qual a absorção do material é fracionada pela área da amostra.

$$\alpha = \frac{A_a}{S} \quad (3)$$

em que S é a área superficial da amostra.

A Perda de Transmissão estabelece a quantidade de energia perdida quando da transmissão do som de um meio para outro, separados por um obstáculo (parede, divisória, etc.), ou seja, está relacionada à capacidade que um determinado material possui em dificultar a transmissão sonora através dele próprio. Neste caso, deseja-se impedir ou, pelo menos, minimizar a um nível aceitável, o ruído ao qual o homem fica exposto. Normalmente são utilizados materiais de alta densidade superficial como, por exemplo, concreto, vidro, chumbo, etc. para isolar acusticamente os ambientes. O isolamento acústico proporcionado por paredes, pisos, divisórias ou partições, tem como objetivo atenuar a transmissão de energia sonora de um ambiente para outro.

2.1.1. Coeficiente de Absorção Sonora dos painéis

Como neste trabalho o objeto de estudo são painéis de fibras vegetais, não é relevante analisá-los quanto à Perda de Transmissão, uma vez que são leves, flexíveis, e possuem vários espaços vazios (interstícios) em sua estrutura, limitações que não os torna bons isolantes acústicos. Por outro lado, essas mesmas características fazem com que certa quantidade de energia, emitida por uma fonte sonora, ao incidir sobre um dos painéis (elemento absorvedor), seja refletida com uma intensidade de energia reduzida. O restante da energia é transformado pelo elemento em energia térmica, ou calor. A energia sonora se dissipa em calor por causa das perdas de escoamento viscoso dentro do material e também pelas perdas por atrito interno do movimento das fibras (Gerges, 2000). Por este motivo, a caracterização acústica a ser feita no objeto de estudo deste trabalho se limitará à Absorção Sonora e, conseqüentemente, ao Coeficiente de Absorção Sonora.

Os materiais utilizados para a realização da caracterização acústica dos painéis foram: *software* labshopview versão 12.5.0; minicâmara reverberante; analisador de sinais (PULSE) B&K tipo 3560c; microfone B&K, tipo 4942 - a - 021 (nº de série: 2330293) para campo difuso; alto-falante *selenium* modelo md bass 6mb1, de 15" de diâmetro; termohigrômetro digital; amplificador; microcomputador (*notebook*); suporte para microfone; cabos de conexão (BNC,

RJ45, Speakon, etc.); extensões elétricas; painéis de fibras vegetais; calibrador sonoro B&K 4231, número de série 50241880.

A câmara reverberante utilizada nos ensaios, como mencionado anteriormente, foi uma câmara reduzida (ver Figuras 3a e 3b). Os princípios válidos em câmaras reverberantes reais se aplicam às câmaras reduzidas (Princípio da Reciprocidade, do Campo Difuso, etc.) e a mesma é qualificada para os ensaios a que foi destinada. Para realizar os ensaios, uma cadeia de medição foi concebida utilizando-se os elementos que são, normalmente, utilizados nestes tipos de ensaio: transdutor, analisador, computador e amplificador (ver Figuras 3c e 3d). Os ensaios realizados na minicâmara em questão tinham como objetivo determinar o coeficiente de absorção sonora das amostras utilizando-se o Método de Interrupção do Ruído, o qual consiste na obtenção de curvas de decaimento através do registro direto do decaimento do nível de pressão sonora após a câmara ter sido excitada com ruído de banda larga.

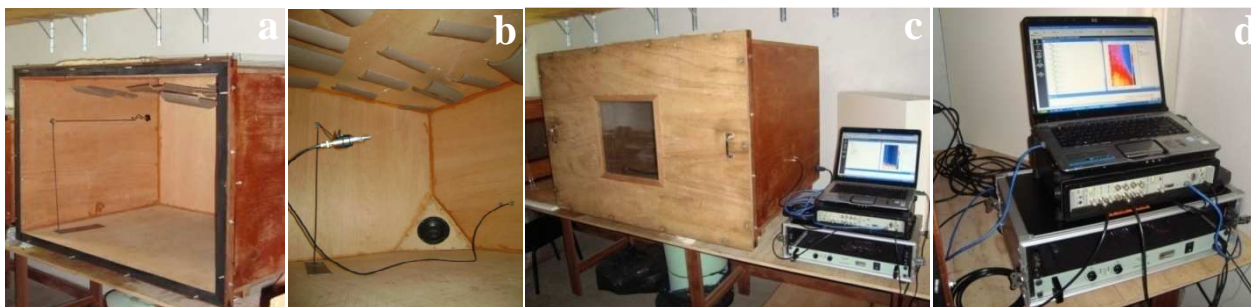


Figura 3 - (a) Minicâmara, (b) interior da minicâmara: seus difusores, fonte sonora e suporte do microfone, (c) e (d) cadeia de medição.

A fonte sonora instalada no interior da minicâmara, como pode ser visto na Figura 3b é fixa, tentando-se compensar essa limitação com o aumento do número de medições, 10 pontos, sendo três medições para cada ponto, totalizando 30 medições, número suficiente de medições, uma vez que a norma ISO 354/1999 estabelece que o número mínimo de medições necessárias para cada banda de frequências é de doze decaimentos, de 100 Hz a 250 Hz (por exemplo, dois para cada uma de seis combinações de fonte/microfone); nove decaimentos, de 315 Hz a 800 Hz (por exemplo, três para cada uma de três combinações de fonte/microfone) e seis decaimentos de 1000 Hz a 5000 Hz (por exemplo, dois para cada uma de três combinações de fonte/microfone).

Para que os resultados possam ter confiabilidade, uma série de exigências e procedimentos normalizados deve ser seguida. No caso da norma ISO 354/1999, uma das exigências é que a diferença entre o Nível de Ruído de Fundo (NRF) e o Nível de Pressão Sonora (NPS) da fonte seja de pelo menos 15 dB em cada banda de um terço de oitava. A Figura 4, a seguir, mostra que essa exigência foi respeitada.

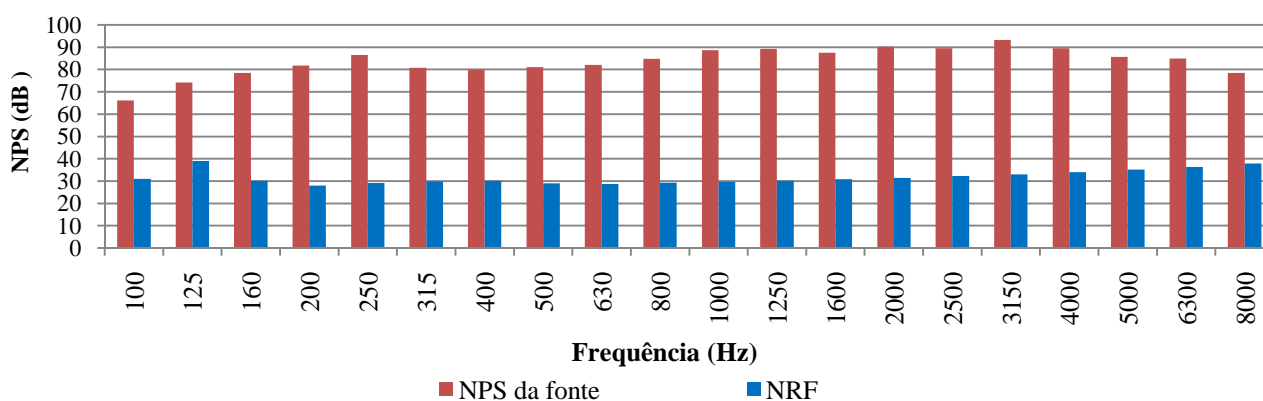


Figura 4 - Comparação entre o NPS devido à fonte no interior da minicâmara e o NRF em um dia típico.

Em relação à absorção sonora das superfícies da câmara, segundo a norma anteriormente citada, é recomendado que o gráfico dessa grandeza em função da frequência seja uma curva suave e não apresente picos ou vales divergindo mais do que 15% da média de dois valores adjacentes em bandas de um terço de oitava, para que não se tenha valores superestimados de absorção sonora dos materiais em estudo. Segundo outras referências (Araújo, 2002) o coeficiente de absorção sonora das superfícies da câmara deve ser tão baixo quanto possível, não excedendo 3% do coeficiente de absorção sonora da amostra em estudo, em cada banda de frequência analisada. O gráfico mostrado na Figura 5 mostra os baixos coeficientes de absorção sonora obtidos para as superfícies da câmara, não apresentando grandes disparidades ao longo do espectro de frequência analisado, sendo contemplada mais esta exigência.

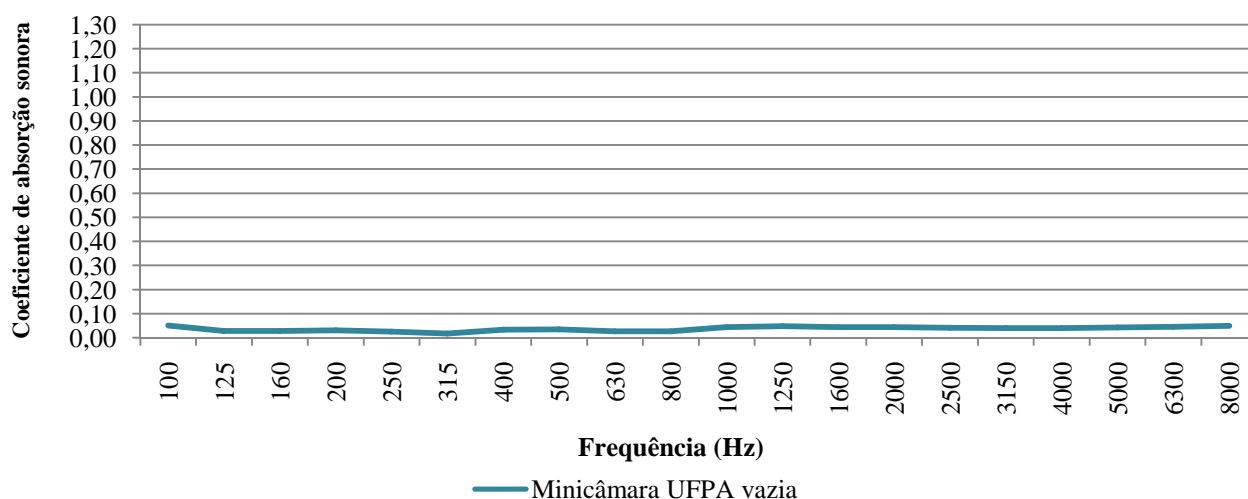


Figura 5 - Coeficiente de absorção sonora das superfícies da minicâmara reverberante da UFPA.

Os coeficientes de absorção sonora, obtidos através do processo de caracterização acústica dos painéis analisados, serão apresentados a seguir. A Figura 6, a seguir, mostra que para uma determinada faixa do espectro de análise (a partir de 1000 Hz) o desempenho acústico do painel de fibra de dendê é satisfatório, e em frequências maiores (a partir de 2000 Hz) esse desempenho melhora ao ponto de ser compatível com materiais comercialmente disponíveis. Dessa forma, pode-se dizer que fabricar um painel a partir de fibras de dendê para se controlar ruídos é uma opção atrativa, pois é de baixo custo, apresenta um desempenho acústico razoável e agrega valor à referida fibra que, atualmente, é utilizada tão somente como combustível para fornalhas por empresas de extração de óleo de palma. Adicionalmente, através de combinações com outras fibras (enquanto painéis mesclados) as características de absorção do painel de fibra de dendê são potencializadas como pode ser visto, a seguir (ver Figura 7).

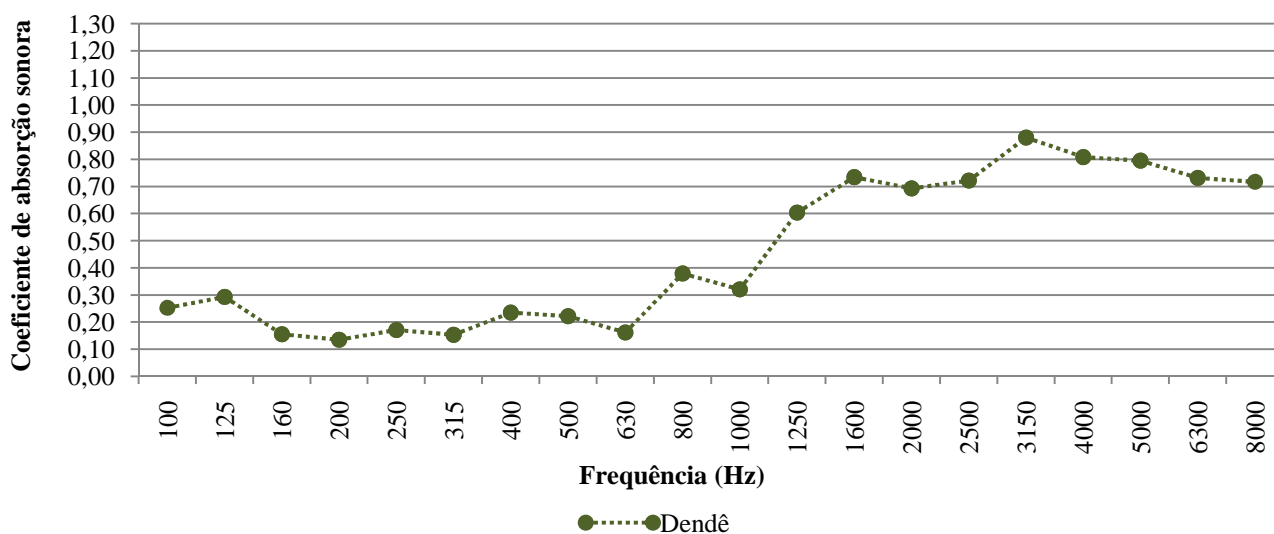


Figura 6 - Coeficiente de absorção sonora de um painel artesanal de fibra de dendê.

É possível perceber que os resultados obtidos através da minicâmara utilizada são influenciados pelo grau de difusão de seu campo sonoro, o qual está diretamente relacionado às características dos materiais de construção da câmara, isto é, quanto mais rígido é o material de revestimento interno da câmara, mais difuso será seu campo sonoro, além de fatores dimensionais, uma vez que uma câmara de dimensões pequenas não contribui para a difusão sonora em seu interior. É importante mencionar, porém, que aqui não é utilizado fator de escala para deslocar o intervalo de frequências de análise, ainda que em baixas frequências o comportamento da minicâmara seja pouco difuso. Pois, como toda câmara, esta também apresenta limitações nas regiões de baixas frequências (a experiência tem demonstrado que os resultados da minicâmara tornam-se menos confiáveis abaixo de 500 Hz), mas que são pouco relevantes frente ao objetivo do trabalho. Adicionalmente, os materiais aqui ensaiados (absorvedores resistivos) são recomendados, principalmente, para aplicações em médias e altas frequências.

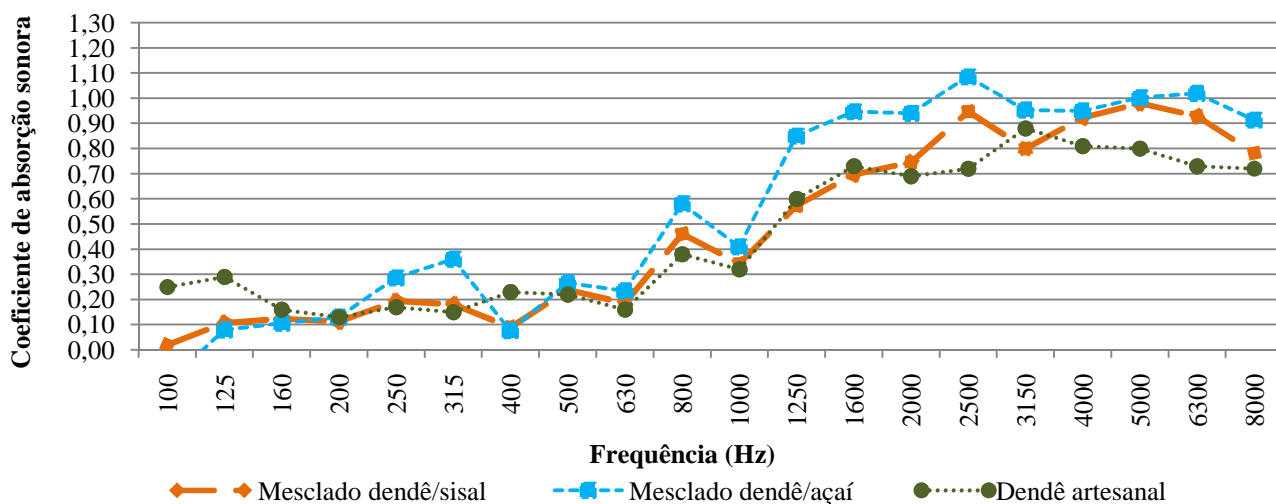


Figura 7 - Comparação entre os coeficientes de absorção sonora de um painel unifibra de dendê e mesclados de dendê/sisal e dendê/açai.

Em relação à Figura 7, quando se tem coeficientes de absorção sonora maiores que a unidade, fato este, ocorrido devido às variações estatísticas de parâmetros como, por exemplo, posição do(s) microfone(s) e fonte(s), posição da amostra, campo sonoro na câmara, etc., assume-se o valor unitário para o coeficiente de absorção sonora da amostra em questão (Gerges, 2000).

São apresentados agora, os coeficientes de absorção sonora dos painéis de coco (ver Figura 8), açai (ver Figura 9) e sisal (ver Figura 10) para depois mostrar como seus desempenhos melhoram quando da combinação destas fibras em painéis multifibras (ver Figura 11).

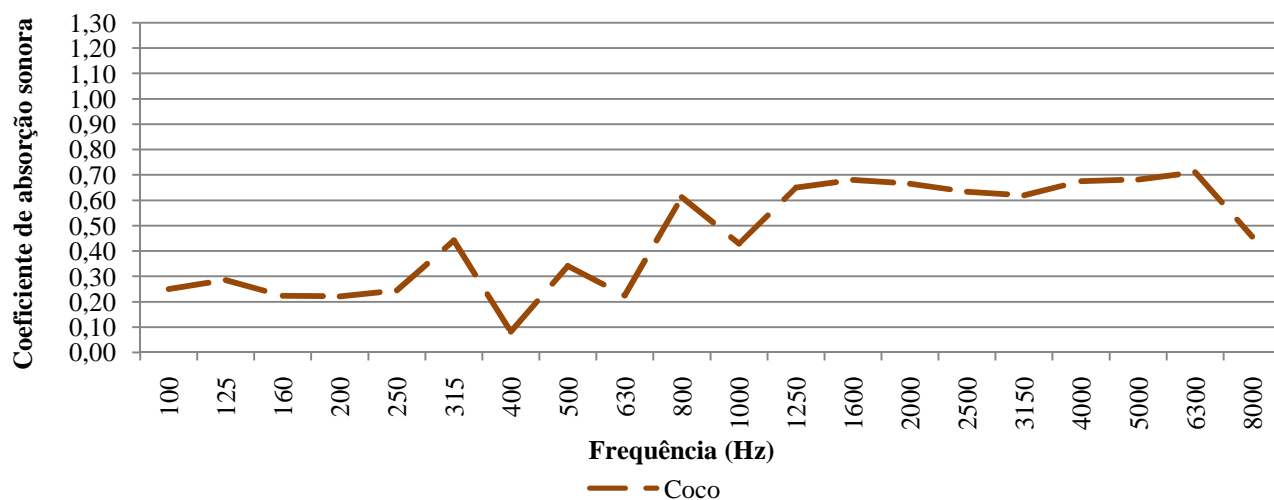


Figura 8 - Coeficiente de absorção sonora de um painel artesanal de fibra de coco.

O desempenho acústico do painel de fibra de açai, mostrado na Figura 9, a seguir, foi um dos melhores obtidos dentre os materiais analisados. Embora instável nas baixas frequências do espectro, a partir de 1000 Hz possui coeficiente de absorção sonora acima de 80%, credenciando-o como o painel unifibra com melhor desempenho acústico dentre os de mesma categoria aqui ensaiados, sendo compatível, e até superior em algumas frequências, ao desempenho de alguns materiais comercialmente disponíveis, utilizados para a finalidade de controle de ruído.

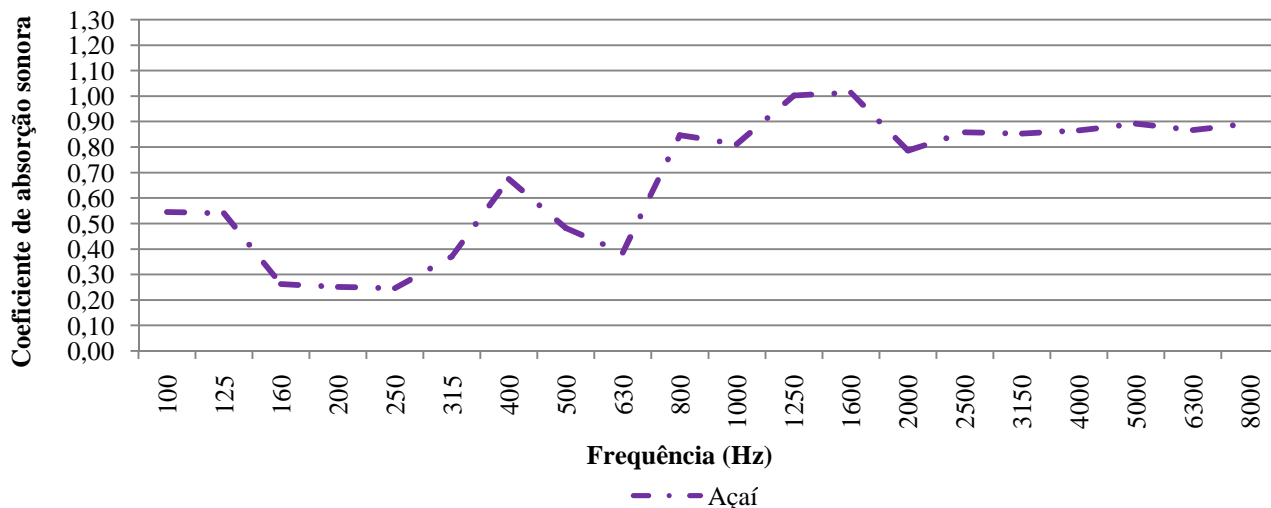


Figura 9 - Coeficiente de absorção sonora de um painel artesanal de fibra de açai.

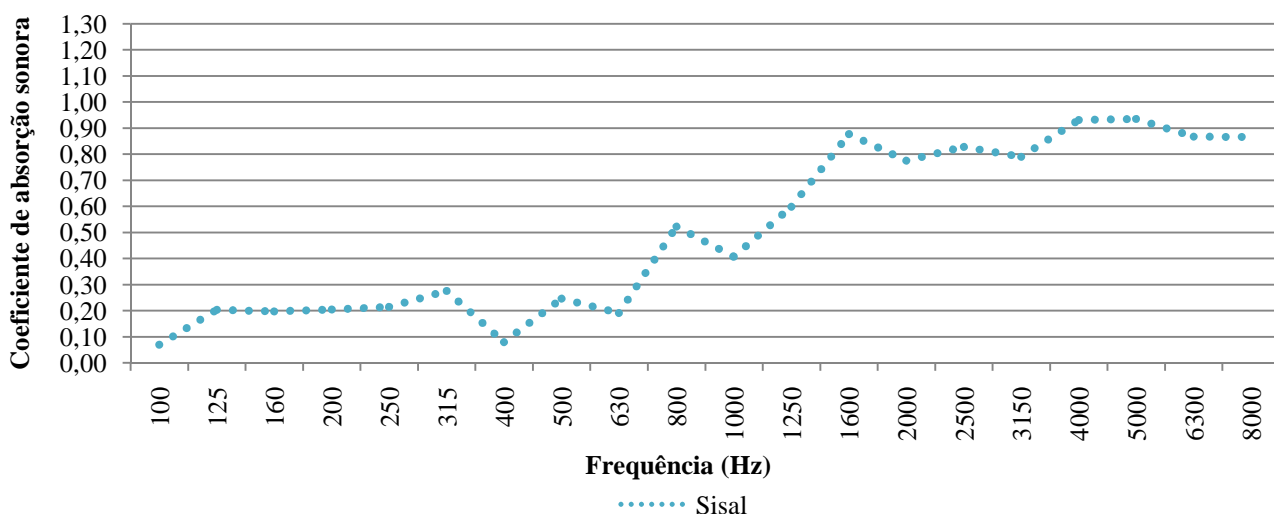


Figura 10 - Coeficiente de absorção sonora de um painel artesanal de fibra de sisal.

Analisando-se as Figuras 11 e 12 nota-se que materiais heterogêneos (neste caso painéis multifibras de açai/coco e sisal/coco) proporcionam uma característica denominada versatilidade acústica, pois dependendo da face que esteja voltada para a fonte, a absorção sonora é diferente. Dessa forma consegue-se proporcionar diferentes comportamentos acústicos a uma sala tratada com o mesmo material.

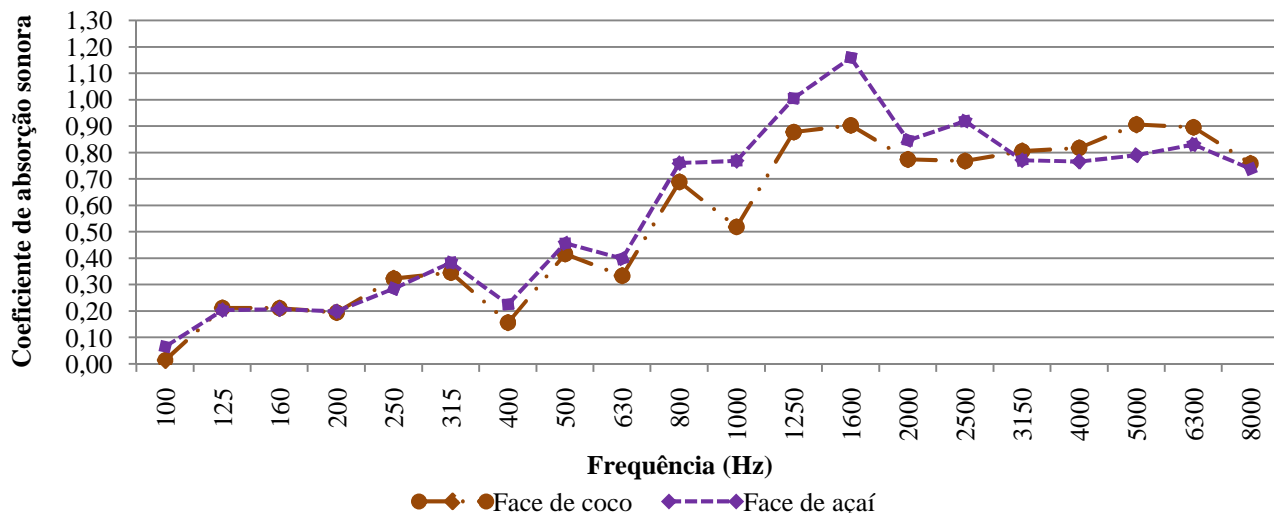


Figura 11 - Comparação entre os coeficientes de absorção sonora das faces de um painel multifibra de açai/coco.

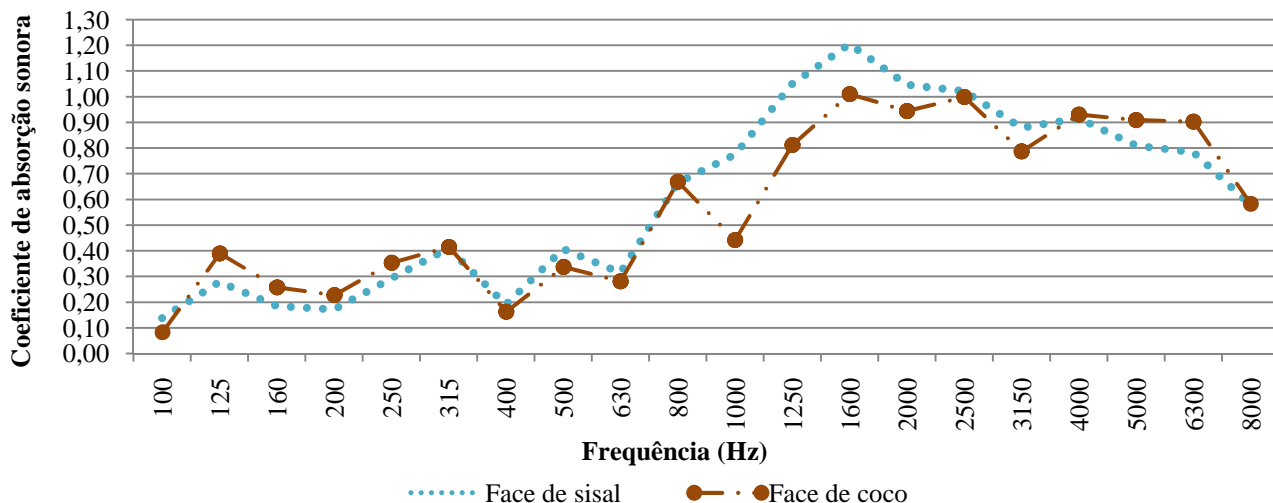


Figura 12 - Comparação entre os coeficientes de absorção sonora das faces de um painel multifibra de sisal/coco.

Os materiais acústicos convencionais ensaiados foram placas acústicas de Sonex Flexonic de 75 mm de espessura (ver Figura 13a) e Sonex Roc de 30 mm de espessura (ver Figura 13b), mostrados a seguir.

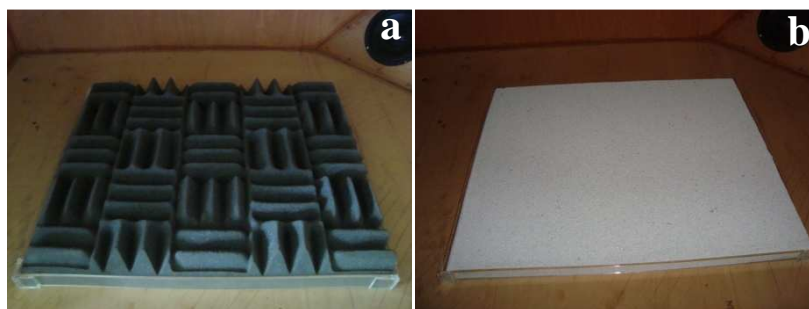


Figura 13 - Materiais acústicos convencionais ensaiados: (a) Sonex Flexonic - 75 mm e (b) Sonex Roc - 30 mm.

Na figura 14 são apresentadas as curvas do coeficiente de absorção sonora em função da frequência, de materiais acústicos convencionais ensaiados, obtidas na minicâmara reverberante da UFPA.

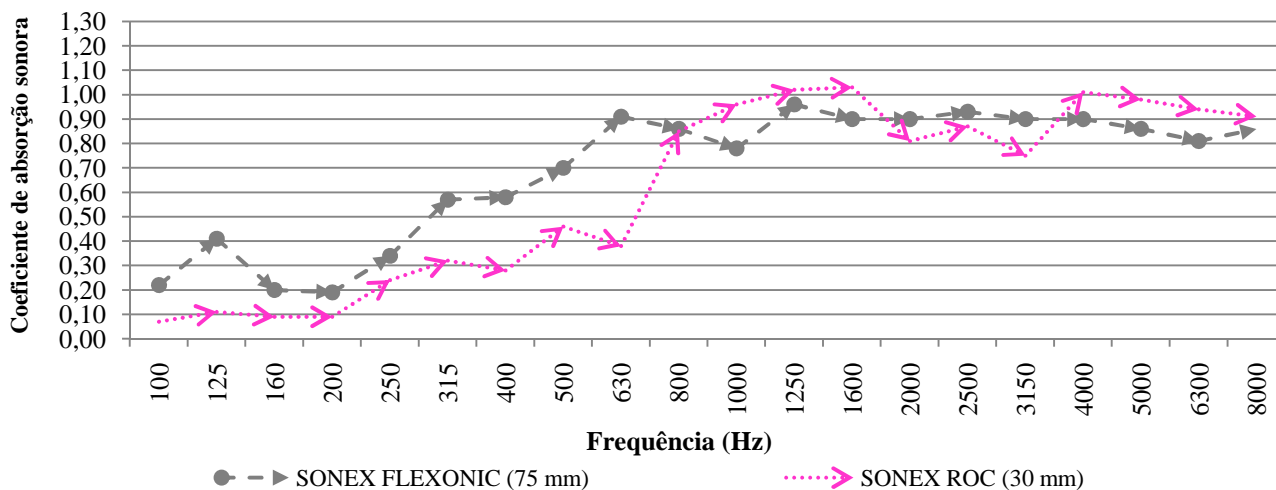


Figura 14 - Coeficiente de absorção sonora de materiais acústicos convencionais.

Comparando o desempenho acústico dos materiais acústicos convencionais ensaiados com painéis unifibra (ver Figura 15), com painéis mesclados (ver Figura 16) e com painéis multicamadas (ver Figura 17), tem-se os seguintes resultados:

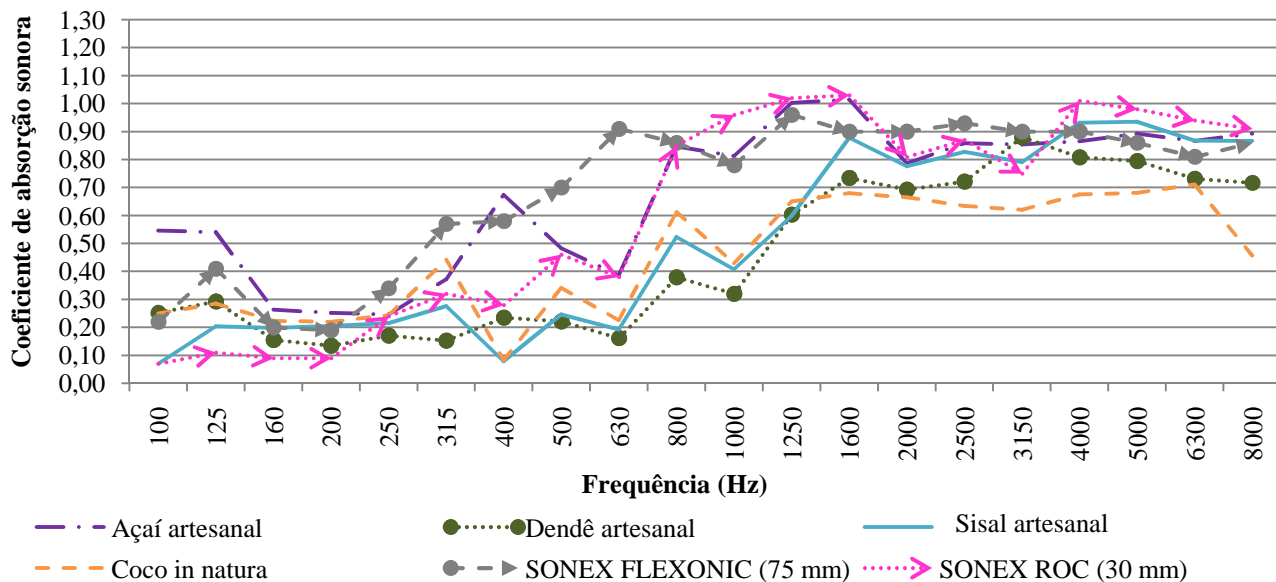


Figura 15 - Comparação dos coeficientes de absorção sonora de materiais acústicos convencionais e painéis unifibra.

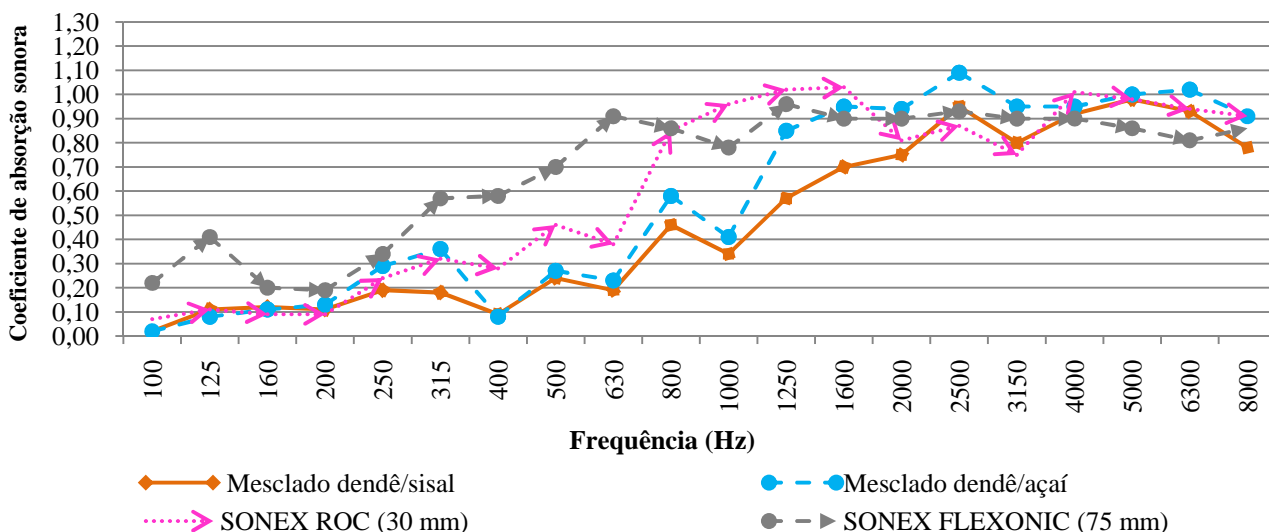


Figura 16 - Comparação dos coeficientes de absorção sonora de materiais acústicos convencionais e painéis mesclados.

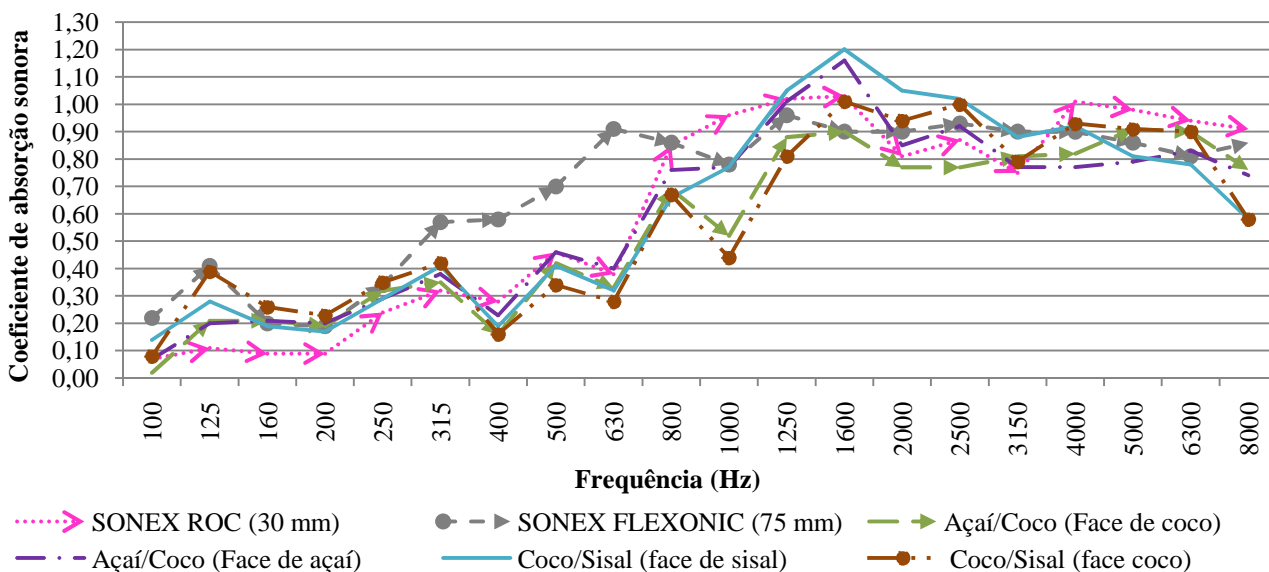


Figura 17 - Comparação dos coeficientes de absorção sonora de materiais acústicos convencionais e painéis multifibras.

A partir dos resultados apresentados nos gráficos das Figuras 15, 16 e 17, pode-se dizer que, de uma forma geral, todos os painéis fabricados a partir de fibras vegetais, mostraram-se bons absorvedores sonoros, apresentando uma eficiência maior em médias e altas frequências, faixa de atuação mais comum para materiais deste tipo. É importante mencionar, que não foram levadas em consideração a espessura e a densidade dos painéis artesanais nas comparações de desempenho com materiais convencionais, algo que tornaria mais evidente a superioridade dos painéis artesanais. Além disso, muitas combinações de fibras não foram ensaiadas e sequer concebidas, pois, se alterando parâmetros como proporção de fibras em um painel mesclado ou utilizando-se três ou mais fibras na composição de um painel multifibras (haja vista que para as combinações aqui feitas, tanto para painéis mesclados quanto para painéis multifibras, foram utilizadas apenas dois tipos de fibras), as combinações podem ser muito variadas, podendo surgir um material com características ainda melhores.

Contudo, as análises feitas neste trabalho buscaram estabelecer uma comparação qualitativa entre os materiais investigados, testando-os no mesmo ambiente sob as mesmas condições, ou seja, aqueles materiais que apresentaram bom desempenho na minicâmara apresentarão também bom desempenho em câmaras reverberantes reais.

Embora os materiais aqui analisados tenham apresentado bom desempenho acústico, até que sejam utilizados para a finalidade de controle de ruído, é necessário que estes apresentem bom desempenho em outros aspectos, além do acústico, para que não representem uma fonte de riscos desnecessária não só ao estabelecimento em que estiverem sendo utilizados, mas, principalmente, às pessoas que vierem a frequentá-lo. Por exemplo, fibras vegetais são inflamáveis por natureza, assim, é de fundamental importância que estas resistam ao fogo quando forem utilizadas como materiais de revestimento interno de ambientes. Deve-se, portanto, determinar suas capacidades de resistir a chamas, a fungos, verificar se exalam fortes odores, se degradam facilmente, entre outros, procurando corrigir uma eventual deficiência de modo que estes materiais passem a fazer parte da gama de materiais comercialmente disponíveis para controlar ruídos, com a vantagem de serem de baixo custo e fácil aquisição.

3. CONCLUSÕES

Em relação ao potencial acústico, todos os painéis analisados mostraram-se bons absorvedores sonoros uma vez que apresentaram desempenho compatível e, em alguns casos, superior ao dos materiais comercialmente disponíveis. Além disso, não foram levadas em consideração a espessura e a densidade dos painéis nas comparações de desempenho, algo que evidenciaria o desempenho superior dos painéis artesanais frente aos materiais convencionais. Vale ressaltar que muitas combinações de fibras, na forma de painéis, não foram ensaiadas, haja vista o grande número possível de combinações de painéis obtido através da manipulação de determinados parâmetros do processo produtivo, podendo surgir um material com características ainda melhores que as características dos materiais ensaiados neste trabalho.

Em relação ao coeficiente de absorção sonora dos materiais ensaiados, as análises feitas buscaram estabelecer uma comparação qualitativa entre os materiais investigados, testando-os no mesmo ambiente, sob as mesmas condições. Dessa forma, devido à compatibilidade apresentada quando da comparação de desempenho entre os materiais convencionais e os painéis artesanais e, sabendo-se que os materiais convencionais aqui analisados possuem bom desempenho, atestado em câmaras reverberantes reais, é de se esperar que, os painéis que apresentaram desempenho similar ao dos materiais convencionais na minicâmara reverberante, apresentem desempenho similar também em câmaras reverberantes reais.

4. REFERÊNCIAS

- Andrade, S. M. M. *Metodologia para avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano*. 2004. 202 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- Araújo, Marco Antônio Nabuco de. *Investigation on the parameters involved in measuring sound absorption in reverberant chambers: critical review of the standard*. D.Sc. Thesis, Federal University of Rio de Janeiro. COPPE, 2002.
- Bastos, L. P. *Controle de Ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso*. 2007. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- Bastos, L. P. *Desenvolvimento e Caracterização Acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais*. 2009. 135 f. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências Exatas, Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- Gerges, S. N. Y. *Ruído: Fundamentos e Controle*. 2. ed. Florianópolis. NR Editora, 2000.
- Guedes, R. C. *Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes*. 2007. 94 f. Dissertação de Mestrado, 1º versão, Setor de Ciências Exatas, Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 354: *Measurements of sound absorption in a reverberation room*, 1999.
- Mafra, M. P. A. *Desenvolvimento de infra-estrutura para caracterização e análise de painéis acústicos*. 2004. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.
- NBR 10151:2000 - *Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*. Rio de Janeiro, Brasil.
- NBR 10152:1987. *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro, Brasil.