



Fabricação e medição de amostras de matrizes naturais sem êxito para absorção acústica

Bittencourt, C.C.S.¹ ; Rodrigues, C. P. P.² ; Mansur, A. C.M.¹ ; Cirino, P. D.¹ ; Lima, K.F.¹

¹ Pós graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica, Curitiba, PR, Brasil, cbprojetos.professora@gmail.com ² Pós graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

Resumo

Recentemente muitos materiais acústicos de características naturais são avaliados sucessivamente, entretanto pouco se considera sobre os componentes que constituem seus aspectos naturais, como por exemplo, ao tipo de fibra, aglutinante, densidade e massa. Sem o conhecimento dessas características os resultados são quase sempre insuficientes para atenuar ou eliminar determinadas frequências, causando assim inconsistência e baixa absorção acústica. O objetivo deste trabalho é explanar a baixa absorção sonora em amostras de matrizes naturais que não tiveram êxito na absorção acústica através de experimentos. Para isso foi manufaturado e realizado medições com amostras de fibra de milho, amostras de fibra da casca de coco e amostras de fibra de madeira. Todas as amostras medidas foram produzidas com composições distintas. As amostras foram avaliadas com o método da função de transferência, em tubo de impedância, conforme a ASMT 1050 (*American Society for Testing and Materials*). As amostras produzidas, foram feitas com diâmetro de 100 mm, e espessura aproximada de 6 mm até 11 mm, sendo medidas nas faixas de frequências de 100 a 1600 Hz. Os resultados variaram conforme os tipos de amostras.

Palavras-chave: Amostras eco amigáveis, fibras naturais, baixa absorção, medições em tubo de impedância.

Abstract

Recently, many acoustic materials with natural characteristics have been successively evaluated; however, little consideration is given to the components that constitute their natural aspects, such as the type of fiber, binder, density, and mass. Without knowledge of these characteristics, the results are almost always insufficient to attenuate or eliminate certain frequencies, causing inconsistency and low acoustic absorption. The aim of this study is to explain the low sound absorption in samples of natural matrices that did not succeed in acoustic absorption through experiments. To achieve this, samples of corn fiber, samples of coconut husk fiber, and samples of wood fiber were manufactured and measured. All measured samples were produced with different compositions. The samples were evaluated using the transfer function method in an impedance tube, following ASTM 1050 (*American Society for Testing and Materials*) standards. The produced samples had a diameter of 100 mm and an approximate thickness ranging from 6 mm to 11 mm, and they were measured in frequency ranges from 100 to 1600 Hz. The results varied depending on the types of samples.

Keywords: Eco friendly samples, natural fibers, low absorption, impedance tube measurements.

1. Introdução

Com os adventos das mudanças climáticas do século XXI e o consumo de materiais sintéticos destinados à absorção acústica, estudos assíduos estão se direcionando às pesquisas que contribuam significativamente para materiais de absorção sonora que sejam amigáveis ecologicamente. Neste contexto, surgem várias propostas, com uma diversidade alta em tipos de materiais com características

naturais, objetivando uma produção menos agressiva ao meio ambiente. Entretanto, muitas vezes, não se é considerado muitos aspectos do produto, como por exemplo, o tipo de fibra, a quantidade de aglutinante e seus efeitos, a densidade, dentre outros os efeitos da absorção da umidade. Inicialmente, para este trabalho, buscou-se materiais de matriz natural, as fibras de milho, coco e madeira, com a intenção de atingir um produto eco amigável, o menos nocivo ao meio ambiente. Entretanto as barreiras surgiram quanto aos aspectos naturais dos materiais despontaram negativamente nos resultados. Assim, ficou entendido que não é qualquer fibra com aglutinante que atende as necessidades de absorção acústica, pois existem atributos naturais que podem comprometer toda uma medição. Além disso, o adesivo que agrega as fibras gerando material acústico, também pode contribuir para um baixo rendimento absoritivo após o processo de secagem.

Com isso, o objetivo deste trabalho é fazer observações a respeito dos resultados inconsistentes das medições das amostras das fibras da palha do milho, da casca do coco e da madeira. Para cada tipo de fibra natural foi usado um aglutinante sendo acetato de polivinilo ou o próprio poliuretano com matriz natural. Os procedimentos de mistura foram para cada fibra forma feitos de forma distintas. Desta forma, ao ser realizadas as medições de absorção acústica, foram apresentadas inconsistências nos resultados das medições, tendo como principais fatores a densidade do material, a massa, e os efeitos do aglutinante. Para as medições as amostras foram feitas com 100 mm de diâmetro e espessura de aproximadamente de 6 a 10 mm, com uma quantidade de 10 amostras de cada material. Também, foi elaborado apenas um método experimental de medição, a função de transferência, em conforme a ASTM 1050 (*American Society for Testing and Materials*). O experimento foi realizado em tubo de impedância, nas frequências de 100 a 1600 Hz, em uma sala acústica com alta absorção sonora. Os resultados das amostras demonstraram alta inconsistência, com baixa absorção sonora em todas as faixas de frequências, principalmente nas amostras de fibra de madeira, sendo também observado que a espessura das amostras não fez diferença quanto a atenuação sonora.

2. Fundamentos

Foi efetuado um extenso estudo das publicações destinadas em medições de amostras de fibras naturais, destinadas a absorção acústica, buscando soluções sustentáveis, com intenção de mitigar as consequências dos problemas ambientais. Foram caracterizados por U. Berardi *et al.*, e G. Iannace *et al.*, respectivamente, [1] [2] medições com fibra da raiz da palmyra marrom (vassoura de bruxa) em métodos acústicos usando um modelo numérico próprio, também foram feitas análises experimentais como: a resistividade ao fluxo, porosidade e com isso a medição da absorção acústica. O coeficiente de absorção foi calculado com o modelo numérico usando algoritmos com base em rede neural artificial comparando os resultados com regressão linear, indicando que o modelo de rede neural artificial apresentou bons resultados. K. H. Or *et al.*, [3] fizeram amostras com diferentes densidades de fibra de palma sem o fruto como alternativa de material de absorção acústica natural, entretanto foi observado quanto maior a espessura e a densidade melhor a absorção sonora. Os experimentos foram feitos em tubo de impedância, resultando em um alto coeficiente de absorção sonora nas frequências de 1kHz e desempenha bons resultados quando confrontados com os materiais sintéticos. As amostras feitas da fibra de sisal por T. S. Gomez *et al.*, [4] proveniente da Colômbia usando-as como alternativa de material natural termoacústico, levando em conta a morfologia da fibra, caracterizando as amostras com e sem TNT nos métodos de resistividade ao fluxo, rigidez dinâmica e condutividade térmica. Os resultados demonstraram que as amostras devem ser mais espessas e as fibras mais finas para alcançar bons resultados, além disso ao confrontar os dados, as amostras mostram efeitos de absorção sonora semelhante ao material sintético nas faixas de frequência de 1kHz. Tang *et al.*, [5] examinaram a caracterização de amostras com multicamadas feitas a partir de tecido não tecido (TNT) e malha de PET direcionadas para absorção acústica. Com isso, foi verificado que cada material fibroso possui diferentes mecanismos de absorção e quando juntos melhoram a absorção acústica. Zulkifli, R. *et al.*, [6] fizeram um painel sanduiche com uma placa perfurada feita a partir de compostos de fibra/poliéster, sendo o

painel preenchido com multicamadas de fibra de coco, com isso foi avaliado o coeficiente de absorção sonora e a baixa transmissão. Para obter os resultados foi usado método experimental, com sala reverberante, e uma simulação numérica, para comparar os resultados de coeficiente de absorção e perda de transmissão. Contudo, S. Çelebi e H. Küçük [7] usaram fibra da folha do chá para misturar com base de poliuretano com a finalidade de produzir uma espuma macia e rígida para comparar a mais eficiente na absorção acústica. Os resultados demonstraram um aumento da absorção sonora em 50 % da mistura, de PU com a fibra da folha de chá, da espuma macia nas faixas da frequência média. Del Rey *et al.* [8], avaliaram barreiras acústica feitas a partir de placas perfuradas com preenchidas com materiais reciclados de tecidos, sendo medido em uma câmara reverberante pequena fabricada conforme a ISO 354. Para Bittencourt *et al.* [9], que também analisam amostras de fibras naturais (coco, sisal e cana de açúcar) com métodos experimentais de resistividade ao fluxo e função de transferências em tubo de impedância, com isso compararam os métodos experimentais com métodos analíticos. Os resultados demonstraram que os experimentos realizados podem contribuir para absorção acústica quanto as amostras são feitas em maiores números de camadas. Veronese [10] mostrou a correlação da espuma de PU, Poliuretano vegetal de óleo de mamona e de soja, demonstrando que a espuma a base de Poliol de mamona não apresentou tempo de decomposição, devido as retículas dos polímeros que dificultou a quebra das ligações químicas por enzimas, promovendo uma durabilidade alta. Embora possua características similares à espuma sintética a o PU vegetal gerado possui, em sua grande maioria, células de poros fechado, por isso ele se torna mais eficiente para o isolamento térmico, [11]. Ainda sobre P. de Paula [11] que caracterizou a espuma vegetal de poliol de mamona com reforço de serragem de pinus e fibra de sisal através de análise química, em que fez ensaio de flexão, tração perpendicular, absorção, inchamento em espessura, perfil de densidade raios-X e micrografias de MEV. Com isso, foi comprovado que a expansão excessiva da espuma com compósitos promoveu a redução da massa específica, afetando todas as características físicas e mecânicas do compósito.

3. Métodos

A metodologia foi dividida em subseções objetivando uma compreensão mais fluidas dos métodos abordados. Para isso foi realizado duas divisões, sendo elas a subseção das amostras, que são mencionados os procedimentos de manufatura das amostras e a subseção da metodologia de medições que explica a método experimental e a sua estrutura analítica.

3.1. Amostras

Para este trabalho foram feitos três tipos de amostras. A primeira amostra, de fibra da palha do milho, com espessura aproximada de 11 mm e diâmetro 100 mm. Este corpo de prova foi processado com adesivo PVA Acetato de Polivinilo e água. A segunda amostra, feita da fibra da casca do coco, com espessura aproximada de 10 mm e diâmetro 100 mm, sendo processado com adesivo PVA Acetato de Polivinilo sem água. A terceira amostra feita da fibra da madeira, processada com Poliuretano (isocianato e poliol) com poliol extraído da mamona, e espessura aproximada de 6 mm e diâmetro 100 mm. Todas as amostras foram medidas em tudo de impedância, com o método da função de transferência, conforma a ASTM 1050, nas faixas de frequências de 100 até 1600 Hz. A Tabela 1 a seguir demonstra a composição dos materiais compostos nas amostras com as suas respectivas espessuras, volumes, massas e densidades. A etapa de quantitativos de fibras e seus agregados é fundamental para a qualidade das amostras e para o bom desempenho das medições, além disso, quando a fibra é bem selecionada e a amostra é manufaturada de forma adequada a possibilidade de alcançar resultados consistentes é altamente relevante. É a partir desta etapa e da fabricação das amostras que as características das fibras ficam mais evidentes quanto ao seu potencial absoritivo. As amostras de fibra de milho e coco foram feitas com base nos trabalhos de Bittencourt *et al.*, 2019 [9].

Tabela 1: Características das amostras produzidas (Bittencourt, 2023).

Fibra	Espessura [mm]	Volume [mm³]	Massa [g]	Densidade [kg/m³]
Milho	11,54	83,851	10	119,25
Coco	10,18	75,795	9	118,74
Fibra da madeira	6,30	49,12	38,74	743,28

Para as amostras de fibra de milho, como foi mencionado anteriormente, foi utilizado a fibra da palha do milho misturada com adesivo acetato de polivinilo (PVA) e água. As amostras foram feitas em moldes de 100 mm de diâmetro e espessura aproximada de 11 mm. O processo de cura destas amostras levou em média 48 horas, sendo necessário acelerar a secagem das amostras em estufa a 50C°, além disso, as amostras após o tempo de cura, passaram a revelar bolor em sua superfície. Para resolver essa questão, foi levado em consideração o uso de ácido acético (vinagre) para o controle do bolor que resolveu temporariamente, voltando em dias mais úmidos, ver Figura 1. Contudo, uma das maiores questões que comprometeu as medições foi o fato das amostras retraírem com o tempo, perdendo diâmetro. Para que as amostras fossem medidas em tubo de impedância, foi necessário acrescentar plasticina (massa de modelar) no entorno da amostra, sendo uma recomendação da norma ASTM 1050 para caso de frestas entre a amostra e o tubo.



(a) Amostra de fibra de milho com bolor, Figura 1 (a). (b) Amostra de fibra de milho, Figura 1 (b).

Figura 1: Amostra da fibra do milho apresentando bolor após a sua cura (Bittencourt, 2022)

As amostras feitas de fibra da casca do coco, tiveram o processamento de fabricação similar as amostras de fibra de milho, sendo misturado a fibra e aglutinante, porém sem água no PVA. A fibra de coco possui características próprias que a tornar totalmente diferente da fibra de milho, sendo observado que além da sua estrutura física ser cilíndrica, as amostras de fibra de coco não apresentaram bolor após o tempo de cura. Além disso, as amostras ficaram prontas para medição em menos de 16 horas. Entretanto, o principal contratempo das amostras de fibra de coco, está relacionado ao comportamento da intrínseco da fibra que ao se hidratar com o aglutinante e absorver a umidade do meio, as amostras tendiam a expandir, ficando com aspectos deformados, vide Figura 2. Esse inchaço comprometeu as medições principalmente no fato que as fibras ficaram mais espessas após a cura, reduzindo assim a absorção sonora e dificultando as medições ao serem inseridas no tubo de impedância, tal como é demonstrado na figura seguinte em que se encontram deformadas em todas as suas dimensões. As amostras de fibra de coco e fibra milho foram feitas no lab. de Dinâmica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná do curso de Pós graduação de engenharia mecânica.

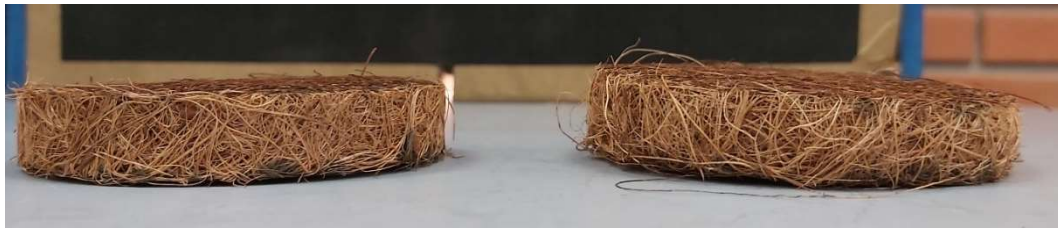


Figura 2: Amostra da fibra de coco apresentando deformidade por absorver a umidade (Bittencourt, 2022)

As amostras de fibra de madeira tiveram o seu processamento diferente, a fibra selecionada equiparava à serragem, com fibras mais fina e menores. O processo de preparo das amostras foi relativamente simples, sendo misturando apenas a fibra com o poliuretano (bicomponente isocianato e polioli de mamona) durante o manuseio da mistura, na fase anterior a expansão da espuma. A proporção do bicomposto na produção do poliuretano foi de 1/1, totalizando 57 g poliuretano, com 28,5 g de isocianato e 28,5 g de polioli de mamona. A fibra de madeira adicionada foi de pinus com 51 g de serragem e um acréscimo de 6 g de fibra de sisal. As amostras foram feitas em forma retangulares de 125mm × 185mm e posteriormente cortadas no formato redondo com diâmetro de 100 mm. Esse recorte sendo fundamental para medição devido o tubo de impedância. O processo de cura das amostras foi relativamente rápido, iniciando a secagem total das amostras em algumas horas, numa média de 4 horas, ver Figura 3. As principais implicações das amostras de fibra de madeira estão associadas ao seu grau de dureza e a sua alta densidade que o poliuretano proporcionou após a sua cura, dificultando a absorção sonora em todas as faixas de frequência. O polioli de mamona possui efeitos de rigidez alto, com ligações químicas de cadeia aromática que possibilita uma maior rigidez, fazendo com que haja mais reflexão que absorção nas amostras. As amostras foram feitas no laboratório de Universidade Tecnológica Federal do Paraná, conforme os estudos de C. R. P. de Paula, 2017 [11].



Figura 3: Amostra da fibra de madeira misturada com poliuretano com polioli de mamona (Bittencourt, 2023)

3.2 As medições

O método usado nas medições foi o da função de transferência H12, criado por A. F. Seybert e D. F. Ross [12] e aperfeiçoado por J. Y. Chung e D. A. Blaser [13], hoje é dirigido pela norma ASTM E 1050 -10, que orienta vários outros métodos de medições em tubo de impedância. Esta técnica foi utilizada com finalidade de determinar as propriedades acústicas do material, através de medições de pressão nas amostras de duas fases, em dois pontos distintos, dentro do tubo com dois microfones. A ferramenta de uso de dados, o tubo de impedância, possibilitou medições em grandes faixas de frequência, em uma velocidade eficaz. O experimento consistiu no uso do tubo de impedância, que apresenta, em uma extremidade, uma fonte sonora e, na outra extremidade, um pistão (que ajuda a posicionar as amostras a serem medidas). Os microfones ficaram posicionados ao longo do tubo, separados por uma distância entre si “s”, em uma posição x1 e x2 da face frontal da amostra a ser medida, com uma pressão incidente P_i e pressão refletida P_r . O desenho esquemático, tal como a Figura 4, demonstra como é a configuração do tubo de impedância em questão.

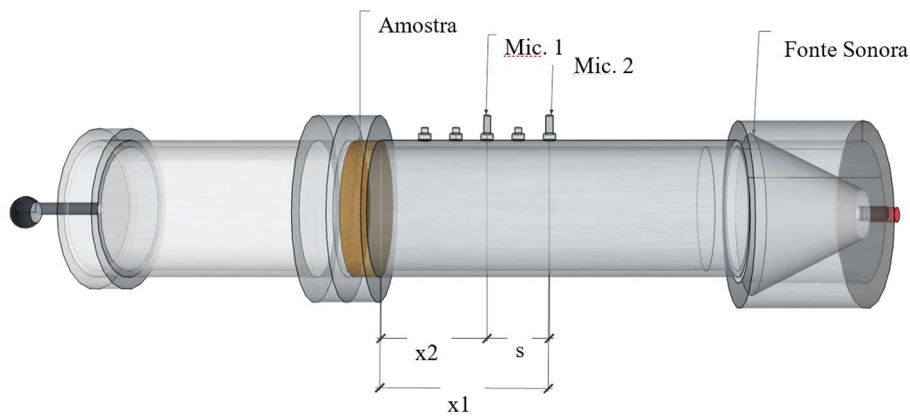


Figura 4: Tipo de impedância SCS 9020B/K (Bittencourt, 2023)

Para garantir que ocorra a propagação de ondas planas no interior do tubo, propriedade indispensável para aplicação do método da função de transferência, a frequência da onda sonora de excitação emitida pela fonte não deve ultrapassar a frequência de corte f_c . Os números de onda para as frequências de corte serão o $1,84/r$ e o $3,83/r$, respectivamente. Sendo assim, o primeiro modo azimutal ou diametral começa a se propagar em kr_0 1,84 e o primeiro modo axi-simétrico em kr_0 3,83. Logo, Considera-se a propagação de ondas planas no interior de um duto como kr 1,84 em L. J. Eriksson [14]. A frequência de corte f_c para baixa frequência é calculada de acordo com a equação (1), em que c é a velocidade do som, d é o diâmetro da amostra em mm, assim sendo:

$$f_c < 1,84c/\pi d \quad (1)$$

O tubo de impedância é da marca SCS 9020B/K com 100 mm de diâmetro interno. O analisador e gerador de sinais é da marca Brüel & Kjær Type 3160-A-042 de seis canais, sendo quatro canais de entrada e dois canais de saída. Os microfones utilizados para a aquisição dos sinais foram o Brüel & Kjær Type 4935 de 1/4", pré-polarizados, com pré-amplificadores e transdutores de identificação. Sua sensibilidade nominal é de 5,6 mV/Pa. A onda que propaga no interior de um tubo é conhecida como onda plana, e, nesse caso, o campo de pressão sonora é dada pela Equação (2):

$$P(x,t) = Ae^{i(\omega t - kx)} + Be^{i(\omega t + kx)} \quad (2)$$

Considerando as pressões p_1 e p_2 , no domínio do tempo, sendo medidas pelos microfones 1 e 2, em que A e B são as amplitudes das ondas que se propagam nas direções negativa e positiva, respectivamente, junto ao eixo x . Para equacionar a função de transferência H_{12} dos microfones 1 e 2, é necessário ter a razão entre a pressão p_2 , medida no microfone 2, em relação a pressão p_1 medida no microfone 1. A função de transferência H_{12} pode ser calculada de acordo com a Equação (3):

$$H_{12}(f) = (e^{ikx_2} + B/Ae^{-ikx_2}) / (e^{ikx_1} + BA/e^{-ikx_1}) \quad (3)$$

O coeficiente de reflexão sonora $R(f)$, pode ser calculado entre a razão da amplitude da onda refletida com a amplitude da onda incidente, conforme J. Allard e N. Atalla [15] e M. L. Munjal [16], sendo:

$$R(f) = |B/A| \quad (4)$$

O coeficiente de absorção α , na função da frequência de excitação da onda incidente, por [13], é:

$$\alpha(f) = 1 - |R|^2 \quad (5)$$

A impedância superficial Z_s , [12], da amostra é obtida através da equação (6), em que a impedância característica do ar é $Z_{ar} = \rho_{ar}c$.

$$Z_s(f) = Z_{ar}(1 + R) / (1 - R) \quad (6)$$

As frequências $f_{\min}$ mínima e $f_{\max}$ máxima de utilização do tubo de impedância podem ser calculadas de acordo com o número de onda kc , em que:

$$f_{\min} > 0,1c2s \quad (7)$$

$$f_{\max} < 0,8c2s \quad (8)$$

4. Resultados

As fibras naturais são frequentemente avaliadas há décadas por apresentarem resultados promissores para absorção acústica e por causarem baixo impacto ambiental, entretanto é fundamental averiguar o processo de fabricação, o comportamento da fibra diante ao aglutinante e a reação da fibra com as questões externas como tempo e umidade. Neste trabalho ficou evidente, que a depender da massa da fibra e do aglutinante, a amostra poderá ou não apresentar boas características de material absorvivo, sendo fundamental examinar cautelosamente as medidas de cada material a serem adicionados na manufatura das amostras. Além disso, foi observado que as amostras de fibra de milho, coco e madeira podem ter bons resultados se a densidade das amostras for inferior a 118 Kg/m, e também, se for estimados os cuidados com fatores intrínsecos das fibras, como aderência a umidade e proliferação de bolor. Para detalhar os resultados deste trabalho, foram feitas análises de cada medições conforme as sequências seguintes.

4.1 Amostras de fibra de milho

Os resultados das amostras da fibra do milho foram relativamente bons, pois à medida que se aproximava da alta frequência aumentava a absorção. Entretanto, para melhorar os resultados foi necessário corrigir as bordas das amostras para melhor fixação no tubo de impedância, para isso, foi usado plasticina (massa de modelar) com o objetivo de vedar as cavidades entre amostra e o equipamento de medição, pois a amostra perdeu massa após a sua cura. A absorção sonora da amostra sem a plasticina apresentou 0.15 nas frequências de 800 Hz, enquanto que a amostra com massa de modelar apresentou 0.21 na mesma frequência. A maior absorção da amostra com plasticina foi na frequência de 1600 Hz, alcançando um valor de absorção sonora de 0.7, conforme a Figura 5.

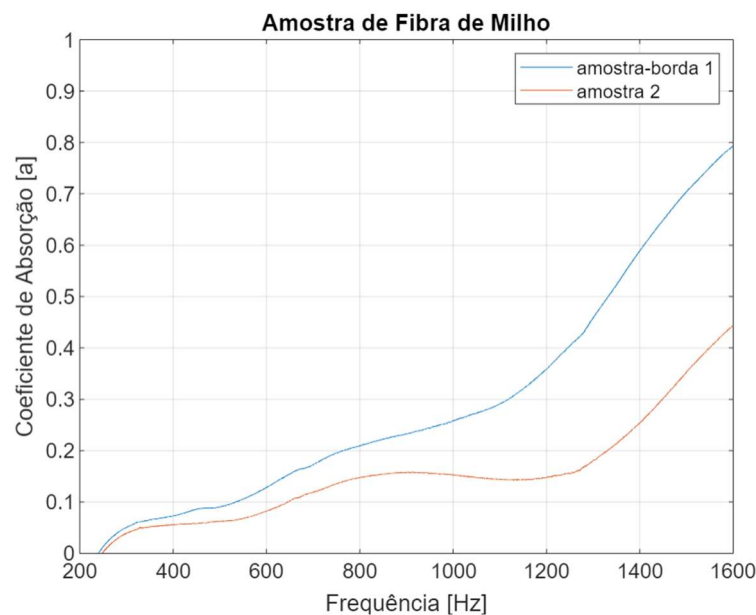


Figura 5: coeficiente de absorção sonora das amostras de fibra de milho com e sem massa de modelar na borda (Bittencourt, 2023)

Uma das consequências ao acrescentar água para diluir o aglutinante foi a proliferação de fungo na superfície da amostra de fibra de milho Figura 1, deixando-a insustentável para medição. Com isso, é recomendável que algumas questões sejam resolvidas: primeiramente para que a amostra seja eficaz é recomendável utilizar uma substância que evite o alastramento do bolor, como por exemplo, um antimoho; aumentar o tamanho da amostra e depois cortar aos moldes do tubo de impedância, pois com o tempo, a amostra tende a perder massa; selecionar um aglutinante mais aquoso ou menos denso para facilitar a manufatura do espécime.

4.2 Amostra de fibra da casca de coco

Para as amostras de fibra da casca de coco os resultados ficaram muito abaixo do esperado, caracterizado a incoerência dos resultados nas faixas de 1000 a 1420 Hz. Considerando que a maior absorção sonora alcançou 0.1 nas faixas de frequências de 800 Hz, um valor muito inferior ao esperado, conforme a Figura 6.

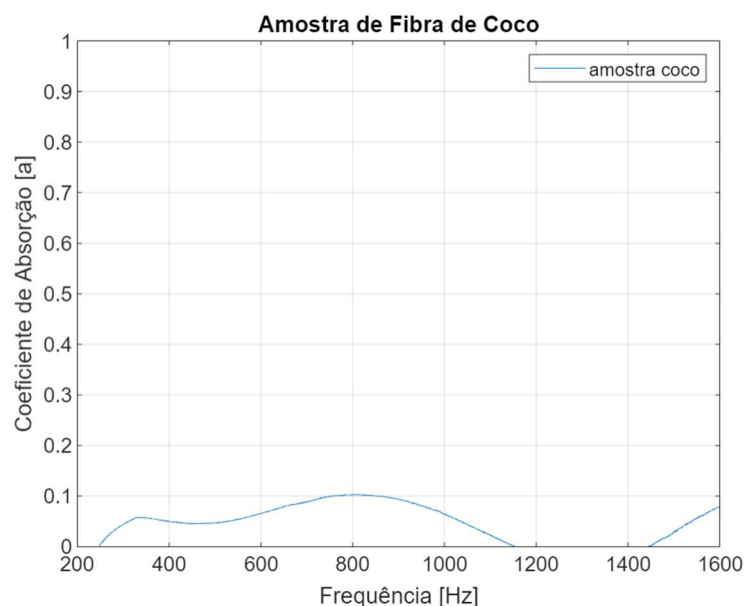


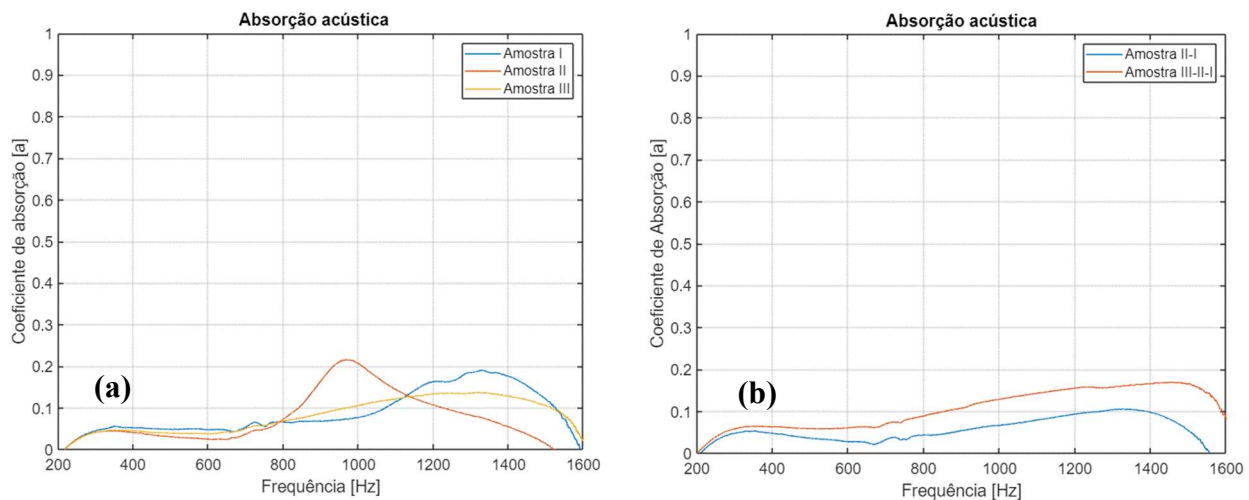
Figura 6: coeficiente de absorção sonora das amostras de fibra de coco (Bittencourt, 2023)

Essa incoerência apresentada no gráfico poderá ser reflexo de vários fatores que são característicos da fibra de coco. Reforçando que os espécimes apresentaram um grau de densidade e rigidez alto após a sua cura devido a quantidade de fibra e a densidade do aglutinante, o que poderia desencadear a baixa absorção acústica. O principal fator observado desta fibra é a sua tendência a se hidratar com o PVA durante a sua cura, proporcionando o inchaço imediato da amostra e um alto grau de dureza, causando deformação em toda a sua extensão, vide Figura 2. Para aumentar a absorção acústica desta amostra é aconselhável utilizar um aglutinante mais aquoso ou dissolver em água o acetato de polivinila; selecionar fibras mais finas, assim a amostra tenderá a ser mais macia e porosa, além disso, diminuindo a quantidade de fibra na produção das amostras o espécime se tornará menos denso.

4.3 Amostras da fibra de madeira

A fibra de madeira por ter um densidade relativamente alta foi necessário utilizar uma quantidade proporcional de poliuretano na composição na manufatura das amostras, resultando em amostras, pós cura, mais enrijecidas e visualmente pouco porosa. A amostra foi produzida com de 57 g poliuretano,

sendo uma proporção de 1/1 de isocianato e polioli de mamona (28,5 g Polioli + 28,5 g Isocianato) e 51 g serragem de pinus com acréscimo de 6 g de sisal. Para alcançar o diâmetro de 10 mm as amostras foram cortadas conforme os moldes do tubo de impedância e sua espessura final ficou com 6 mm aproximadamente. Para esta aferição as amostras foram medidas separadas e posteriormente em camadas. Em todos os resultados a absorção acústica foram baixas. O principal ponto a ser destacado é a alta densidade e grau de dureza das amostras, considerando que houve um provável índice de reflexão se opondo a absorção esperada. O gráfico (a), ver Figura 7, as amostras foram medidas individualmente, alcançando o maior resultado com amostra II, com absorção de 0,21 nas frequências de 1000 Hz. O gráfico (b), Figura 7, as amostras foram medidas em camadas, alcançando uma absorção de 0.17 nas faixas de frequências de 1200 a 1400 Hz.



(a) Amostra medidas separadamente, Figura 7 (a). (b) Amostra medidas em camadas, Figura 7 (b).

Figura 7: coeficiente de absorção sonora das amostras de fibra de coco (Bittencourt, 2023)

As amostras de fibra de madeira não alcançaram um bom resultado por fatores relacionados a alta densidade, a quantidade de PU e fibra, ao manuseio do PU e a escolha do polioli de mamona que tende a gerar uma espuma mais rígidas, conforme os estudos em Poliuretanos [17]. Recomenda-se que amostras associadas a PU sejam menos densas e mais porosas. Para isso, deve-se considerar uma quantidade menor de massa de fibra, mais fina e que seja adicionada a fibra enquanto estiver misturando o PU. Além disso, é necessário averiguar o tipo de polioli a ser utilizado no preparo do PU, sendo aconselhável um polioli de cadeia aberta, pois assim a amostra ficará mais macia e porosa.

5. Conclusão

Conforme foi demonstrado nos resultados dos parágrafos anteriores ficou evidente que alguns aspectos em relação as amostras de fibras naturais devem ser consideradas. Pontuando primeiramente a manufaturar das amostras que é fundamental considerar as características intrínseca de cada fibra, pois algumas tendem a retirar umidade do meio em que se encontra, enquanto que outras tendem desidratar com o tempo. Observando que amostras úmidas podem gerar organismos indesejáveis, tais como mofo, além disso poderá atrair vetores como insetos. Outro fator crucial é em relação aos componentes associados na fabricação das amostras, tal como o aglutinante, que ao ser colocado demasiadamente poderá deixar a amostra mais densa e conseqüentemente menos porosa. Em relação a fibra é de suma importância ponderar a quantidade adicionada na produção da amostra, pois com o espécime pronto é fácil identificar seu aspecto rígido ou frágil, e isso é determinado conforme a massa de fibra colocada na produção. Com isso, ficou claro que muita fibra e aglutinante aumenta a densidade das amostras deixando-a mais rígida e densa, enquanto que o mínimo poderá desassociar a amostras, sendo difícil de administrar nas medições. Sendo assim, com base em respaldo científico e experimental para solucionar essas questões os resultados tenderão a melhorar e se tornar promissores para futuros trabalhos de materiais acústicos ecológicos.

6. Referências

- [1] U. Berardi and G. Iannace, “Predicting the sound absorption of natural materials : Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant,” *Applied Acoustics*, vol. 115, pp. 131–138, 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.08.012.
- [2] G. Iannace, G. Ciaburro, and A. Trematerra, “Modelling sound absorption properties of broom fibers using artificial neural networks,” *Applied Acoustics*, vol. 163, p. 107239, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107239.
- [3] K. H. Or, A. Putra, and M. Z. Selamat, “Oil palm empty fruit bunch fibres as sustainable acoustic absorber,” *Applied Acoustics*, vol. 119, pp. 9–16, 2017, doi: 10.1016/j.apacoust.2016.12.002.
- [4] T. S. Gomez, M. A. Navacerrada, C. Díaz, and P. Fernández-Morales, “Fique fibres as a sustainable material for thermoacoustic conditioning,” *Applied Acoustics*, vol. 164, p. 107240, 2020, doi: 10.1016/j.apacoust.2020.107240.
- [5] X. Tang and X. Yan, “Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review,” *Compos Part A Appl Sci Manuf*, vol. 101, pp. 360–380, 2017, doi: 10.1016/j.compositesa.2017.07.002.
- [6] M. Z. Nuawi, A. R. Ismail, M. F. M. Tahir, R. Zulkifli, and M. J. M. Nor, “Acoustic Properties of Multi-Layer Coir Fibres Sound Absorption Panel,” *Journal of Applied Sciences*, vol. 8, no. 20, pp. 3709–3714, 2009, doi: 10.3923/jas.2008.3709.3714.
- [7] S. Çelebi and H. Küçük, “Acoustic properties of tea-leaf fiber mixed polyurethane composites,” *Cellular Polymers*, vol. 31, no. 5, pp. 241–255, 2012.
- [8] R. Del Rey, L. Bertó, J. Alba, and J. P. Arenas, “Acoustic characterization of recycled textile materials used as core elements in noise barriers,” *Noise Control Eng J*, vol. 63, no. 5, pp. 439–447, 2015, doi: 10.3397/1/376339.
- [9] C. C. B. da Silva, F. J. H. Terashima, N. Barbieri, and K. F. de Lima, “Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods,” *Applied Acoustics*, vol. 156, pp. 92–100, 2019, doi: 10.1016/j.apacoust.2019.07.001.
- [10] V. B. Veronese, “Relação estrutura propriedade de espumas rígidas de poliuretano à base de óleos vegetais,” p. 121, 2009.

-
- [11] C. R. P. de Paula, “caracterização de compósitos de poliuretano de óleo vegetal com madeira de pinus taeda e fibras de agave sisalana vegetal com madeira de pinus taeda e fibras de agave sisalana,” 2017.
 - [12] A. F. Seybert and D. F. Ross, “Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation technique,” pp. 1362–1370, 1977.
 - [13] J. Y. Chung and D. A. Blaser, “Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory,” *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 68, no. 3, pp. 907–913, 1980, doi: 10.1121/1.384778.
 - [14] L. J. Eriksson, “Higher order mode effects in circular ducts and expansion chambers,” *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 68, no. 2, pp. 545–550, 1980, doi: 10.1121/1.384768.
 - [15] J. Allard and N. Atalla, *Propagation of sound in porous media - Modeling sound absorbing materials.*, 2nd ed. John Wiley and Sons Ltd., 2009.
 - [16] M. L. Munjal, *Acoustic of ducts and mufflers*. 2013. doi: 10.1016/0022-460X(87)90418-4.
 - [17] Poliuretanos.com, “Poliuretanos,” in *Polliuretanos*, 2022, pp. 3–11.