



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Aplicabilidade de modelos teóricos de previsão de absorção sonora para o estudo de desempenho acústico de absorvedores fibrosos e granulares

LOUREDO, J. M.¹; LUNA, C.²

^{1,2} Programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, will.fonseca@eac.ufsm.br

Resumo

A pesquisa em desenvolvimento de materiais renováveis e com maior eficiência energética é atual e pertinente em relação a absorvedores. Os painéis aglomerados de matéria-prima lignocelulósica se alinham com essa perspectiva e podem ser classificados como fibrosos ou granulares, a depender da estrutura final das partículas produzidas. Ambas as configurações apresentam características distintas em sua microestrutura oriundas da forma das partículas assim como da porosidade, viscosidade e densidade do material. Essas características influenciam na absorção sonora dos materiais, fator que é de forma comumente avaliado mediante aferição empírica em testes específicos de incidência sonora direta ou difusa. Modelos teóricos de previsão de absorção sonora são uma forma de aprimorar o estudo de materiais absorvedores e visam aliar os dados de características físicas e microestruturais dos materiais porosos e sua influência no desempenho acústico. O foco principal deste estudo é fornecer uma revisão, a fim de apoiar pesquisas que se ocupem em investigar o potencial acústico de painéis aglomerados de material lignocelulósico a partir do reconhecimento das suas características físicas e microestruturais e da concepção de modelos teóricos de previsão de desempenho.

Palavras-chave: absorvedores acústicos, matéria-prima lignocelulósica,

Aplicabilidade de modelos teóricos de previsão de absorção sonora para o estudo de desempenho acústico de absorvedores granulares

Abstract

Research and development of renewable and energy-efficient materials is current and relevant in relation to acoustical absorbers. The agglomerated panels of lignocellulosic material are aligned with this perspective and can be classified as fibrous or granular, depending on the final structure of the particles produced. Both configurations have different characteristics in their microstructure from the shape of the particles as well as the porosity, viscosity and density of the material. These characteristics influence the sound absorption of the materials, a factor that is commonly assessed through empirical measurement in specific tests of direct or diffuse sound incidence. Theoretical models of sound absorption prediction are a way to improve the study of absorbent materials and aim to combine the data of physical and microstructural characteristics of porous materials and their influence on acoustic performance. The main focus of this study is to provide a review with the objective of supporting research that is concerned with investigating the acoustic potential of agglomerated panels of lignocellulosic material from the recognition of their physical and microstructural characteristics and the design of theoretical models of performance prediction.

Keywords: technical paper, FIA, Sobrac, acoustics, vibration



1. INTRODUÇÃO

No âmbito da construção civil o compromisso com a produção de espaços de qualidade através de processos com menor impacto ambiental têm sido cada vez mais recorrente. O conforto acústico tem alcançado cada vez mais protagonismo tanto pelas demandas de controle de ruído geradas pela ocupação urbana, como pelas necessidades recentes de trabalho remoto, produção de conteúdo digital entre outras.

Materiais com propriedades de absorção sonora são aplicáveis tanto como revestimento, de modo a adequar o tempo de reverberação, quanto como camadas em sistemas isolantes afim de minimizar a transmissão sonora.

Alinhada com as perspectivas de aprimoramento dos métodos de produção de materiais, pesquisas relativas a materiais absorvedores identificaram o grande potencial de compósitos baseados em matéria-prima lignocelulósica. Compósitos de fibras e grânulos naturais apresentam significativo desempenho acústico e vantagens no que tange a aspectos como matéria-prima de fonte renovável e menor consumo energético. [1, 2]

O amplo desenvolvimento da acústica para diferentes aplicações induziu uma crescente demanda por materiais com diferentes características. Consequentemente surge necessidade de implementação de métodos de previsão do comportamento acústico desses materiais de modo a possibilitar a otimização do design e customização do desempenho dos materiais e componentes. [3]

Este artigo visa apresentar o potencial de aprimoramento da caracterização e customização de materiais porosos granulares através da apresentação de experiências bem sucedidas na adoção de modelos teóricos de previsão desempenho acústico.

2. MECANISMO DE ABSORÇÃO SONORA EM MATERIAIS POROSOS

O fenômeno da absorção sonora reside no fato de que a estrutura dos materiais porosos apresenta cavidades envolvidas por superfícies conectadas entre si e com o meio externo. A

ocorrência do fenômeno da propagação das ondas sonoras no interior do material gera atrito entre o ar em movimento e a parede do poro. Consequentemente, através da viscosidade do ar no interior do material bem como da condução de calor, há a dissipação da energia sonora. [3]

Os poros são formados a partir de estruturas interconectadas em escala mesoscópica a partir de fibras, grânulos ou estruturas celulares como ilustrado na figura 1. Há casos em que o material apresenta a denominada dupla porosidade, quando a razão entre o tamanho característico dos poros microscópicos e o tamanho dos poros mesoscópicos é da ordem de 10^{-3} . [4]

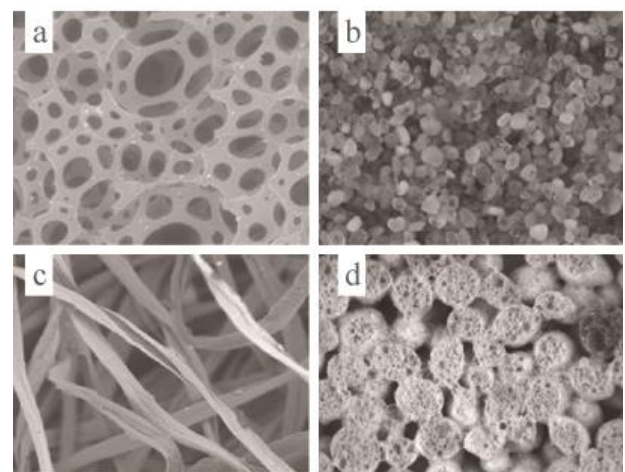


Figura 1: Imagens microscópicas de absorvedores. a) Absorvedor celular, espuma. b) Material granular, areia. c) Absorvedor fibroso, fibra de algodão. d) material de dupla porosidade. [Adaptado de 4]

3. MODELOS DE ABSORÇÃO SONORA EM MATERIAIS POROSOS

Os materiais porosos possuem dois meios para a propagação do som, uma fase sólida composta pela matéria-prima e uma fase fluida geralmente composta de ar nos poros do material. De acordo com a teoria da propagação de ondas elásticas em sólidos porosos saturados de fluido proposta por Biot [5,6] cinco propriedades descrevem a propagação sonora em materiais porosos sendo elas a porosidade, resistividade ao fluxo de ar, tortuosidade, comprimento térmico característico e viscosidade.

A propagação do som em um material homogêneo isotrópico é determinada por duas quantidades complexas, a impedância característica e o coeficiente de propagação. Os

modelos adotam as propriedades físicas mencionadas no parágrafo anterior para obter uma estimativa dessas propriedades acústicas. [3]

Delany e Bazley [7], foram pioneiros na elaboração de modelos dito empíricos. Em sua análise, consideraram que os materiais fibrosos são suficientemente homogêneos para fins práticos principalmente em casos onde se analisa a propagação de ondas planas em uma determinada direção. A partir de uma série de avaliações empíricas propuseram um modelo que correlacionou a impedância característica e o coeficiente de propagação à resistividade ao fluxo de ar.

Em materiais porosos reais a previsão da densidade efetiva e o volume dinâmico dos fluidos saturantes é dificultada pela geometria complexa dos poros. Jhonson et al [8], avançou nesse sentido ao descrever os efeitos viscoelásticos na proposição do conceito comprimento característico relativo à viscosidade. No entanto, para certos fluidos como o ar, a determinação da propagação sonora em materiais porosos deve considerar também os efeitos da temperatura e o módulo de compressibilidade dependente da frequência do fluido a ser saturado. Ambos os conceitos foram desenvolvidos posteriormente por Champoux e Allard [9].

O comprimento característico viscoso e o comprimento característico térmico, foram usados para calcular a densidade dinâmica equivalente e o módulo de volume dinâmico equivalente do fluido em materiais porosos. O modelo Johnson-Champoux-Allard (JCA) é adequado para a descrição de propagação de ondas sonoras, em banda larga, através de materiais porosos. [10].

4. CARACTERIZAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA EM COMPÓSITOS FIBROSOS E GRANULARES

Experiências recentes realizaram procedimentos semelhantes de modo a verificar as propriedades acústicas e não acústicas de materiais porosos fibrosos ou granulares de origem natural e a validação da aplicabilidade

de modelos de determinação de comportamento acústico como os abordados na seção 3.

Nos estudos apresentados a seguir o experimento para aferir os coeficientes de absorção sonora foram realizados através do método do tubo de impedância conforme a ISO 10534-2. [11] A figura 2 ilustra de forma esquemática o procedimento.

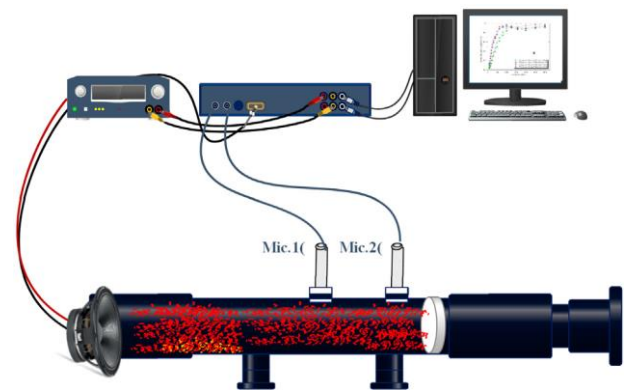


Figura 2: Representação esquemática do teste do tubo de impedância. [12]

Abdi et al [12] investigaram a performance de resíduos de casca de café (CSS) e serragem obtida do beneficiamento de couro (CS) em 12 amostras com densidade constante de 150 kg/m^3 variando a espessura do corpo de prova, dimensão e proporção entre as fibras. Os parâmetros porosidade (ϵ) e resistividade ao fluxo (σ) foram aferidos mediante experimento. As demais propriedades sendo elas tortuosidade (α_∞), comprimento característico relativo a viscosidade (Λ), comprimento térmico característico (Λ') foram obtidos usando a abordagem de caracterização acústica inversa através do modelo semifenomenológicos Johnson-Champoux-Allard (JCA). Em todos os casos o a previsão do coeficiente de absorção usando o modelo JCA mostrou boa concordância com os dados de medição, sendo que o maior percentual de erro identificado foi de 3%. A figura 3 apresenta o gráfico que ilustra os resultados aferidos e calculados para a amostra S#2 com espessura de 30mm, comprimento de fibra de 1mm e proporção entre as fibras 50:50.

O modelo JCA foi utilizado para estudar fibras de cânhamo em diferentes fases de tratamento e beneficiamento [13], utilizadas em compósito cimentício [14] e in natura [15].

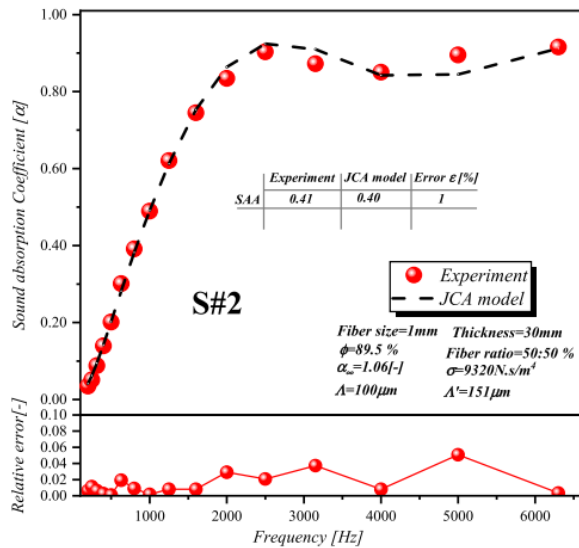


Figura 3: Comparação dos coeficientes de absorção medidos de compósitos de fibra CS-CSS com o modelo JCA [12]

Santoni et al [13] aferiu os parâmetros de resistividade ao fluxo e os coeficientes de absorção sonora para amostra com 40mm de espessura, densidade de 88kg/m^3 nos diferentes estágios de manufatura, como imersão em NaOH e beneficiamento mecânico de alinhamento das fibras. Para todas as situações de tratamento foi aplicado o modelo JCA e em todos os casos houve correspondência entre os dados aferidos e previstos. A figura 4 apresenta o gráfico com os coeficientes de absorção sonora aferidos pelo método do tubo de impedância e a figura 5 apresenta o gráfico comparativo entre os resultados previstos e aferidos para o primeiro beneficiamento mecânico das fibras cânhamo.

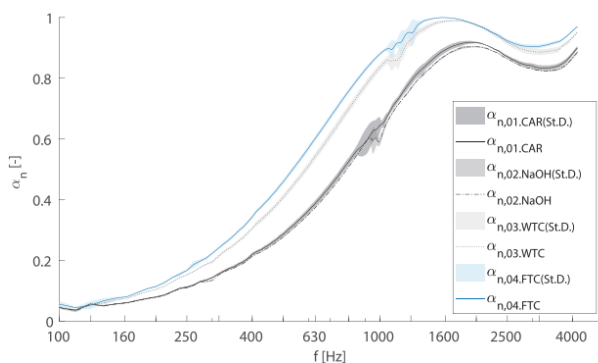


Figura 4: Coeficiente de absorção sonora de incidência normal medido em amostras de fibra de cânhamo nas fases do processo de fabricação. [13]

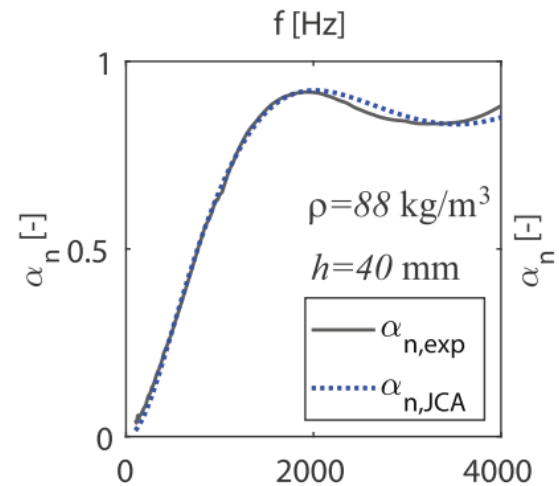


Figura 5: Comparação entre coeficiente de absorção sonora de incidência normal numérica e experimental do material fibroso de cânhamo para a primeira etapa do processo de manufatura. [13]

Glé et al [14] verificou a influencia da densidade em diferentes níveis de compactação e granulometria em compósitos granulares de cânhamo. Identificou nas aferições do coeficiente de absorção sonora que partículas menores decorrem em melhor desempenho. A partir dos dados medidos verificou a compatibilidade do modelo JCA e Biot-Allard para descrever o comportamento acústico do compósito e identificou correspondência satisfatória para o primeiro caso, conforme ilustrado na figura 6.

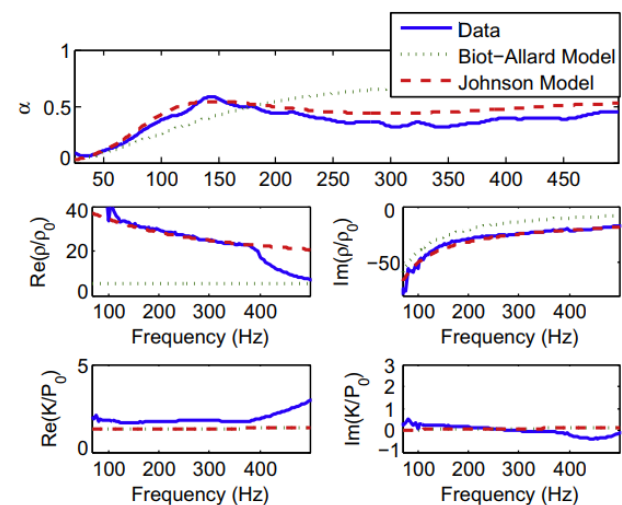


Figura 6: Modelagem da absorção sonora para o compósito cimentício de cimento e cânhamo para amostra com densidade de 420 kg/m^3 partículas com 4mm de comprimento. [14]

Chabriac et al [15] por sua vez avaliou as fibras in natura, e também demonstrou que o percentual de erro entre os coeficientes aferidos e previstos pelo modelo JCA 6,24%. A figura 7 apresenta o gráfico comparativo entre os resultados.

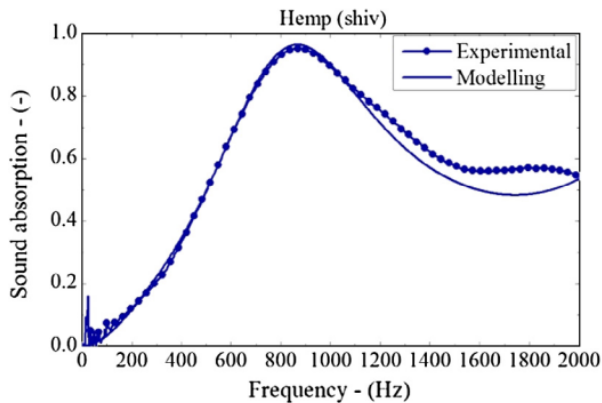


Figura 7: Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora aferidos e previstos através do modelo JCA para partículas de cânhamo. [15]

O comportamento acústico das partículas naturais em base cimentícia também foi abordado por Botterman et al [16] nesse estudo foram avaliadas 3 amostras com espessura de 25mm e espessura de borda de 1mm, 1.5mm e 2mm, sendo que maiores espessuras d e borda implicam em maior percentual de aglutinante. Após a aferição dos coeficientes de absorção sonora utilizou-se os modelos de Attenborough e JCA para a determinação dos resultados. A avaliação indicou a correspondência mais adequada e com menor percentual de erros no modelo JCA. A figura 8 ilustra o comparativo de dados para amostras com 1mm de borda e 448 kg/m³ de densidade.

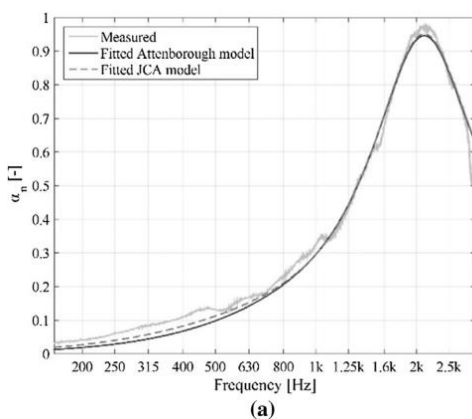


Figura 8: Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora aferidos e previstos para os painéis madeira-cimento [16]

Bhingare e Prakash [17], Mamtaz et al [18] abordaram as propriedades de fibras de côco através de aferições dos coeficientes de absorção sonora e verificação de compatibilidade de descrição do comportamento acústico através de modelos teóricos. No primeiro caso foram feitos em partículas selecionadas com caráter fibroso, já no segundo as fibras de côco foram misturadas com cascas de arroz resultando em um compósito fibrogranular. A figura 9 apresenta as amostras mencionadas.



Figura 9: Sequencia de amostras de fibra de côco com diferentes espessuras e amostras fibrogranulares de côco e casca de arroz. [17, 18 adaptado]

Bhingare e Prakash [17] adotou verificou a pertinência do modelo empírico de Delany e Bazley, já Mamtaz et al [18] o modelo JCA. Em ambos os casos verificou-se correspondência entre os dados porém o menor percentual de erros é observado na utilização do modelo JCA, as figuras 10 e 11 apresentam os gráficos comparativos dos valores aferidos e previstos para os dois estudos mencionados.

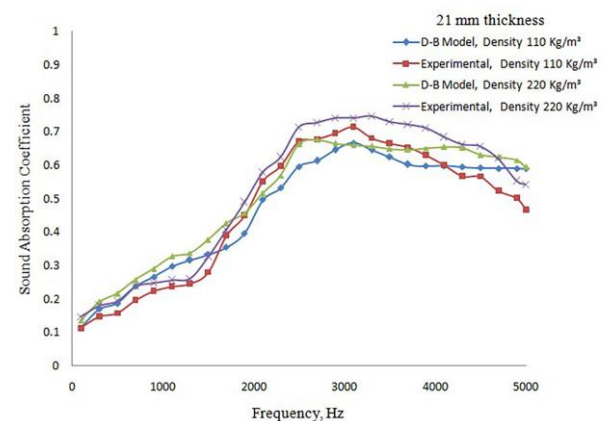


Figura 10: Comparação de resultados de modelos experimentais e matemáticos de amostra de 21 mm de espessura. [17]

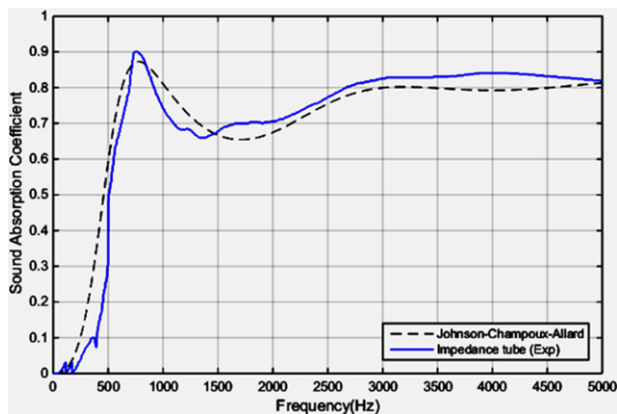


Figura 11: Comparação de resultados de modelos experimentais e matemáticos de compósito fibro-granular de fibra de côco e casca de arroz.

Uma avaliação semelhante foi realizada para partículas de madeira com diferentes comprimentos com geometria granular, reforçando a aplicabilidade do modelo JCA na determinação do comportamento da propagação sonora em meios porosos fibrosos e granulares. [19]

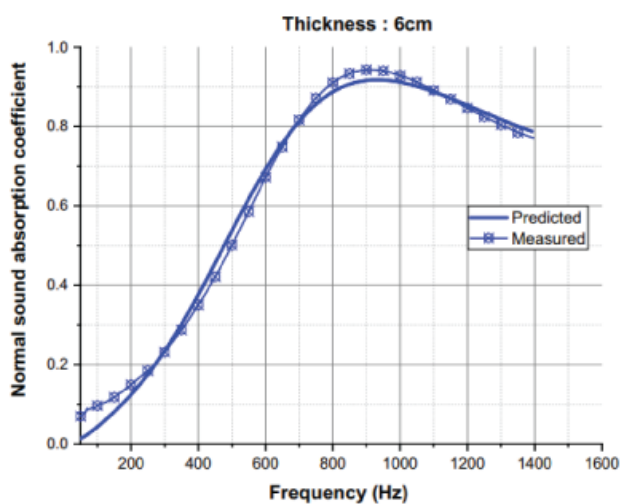


Figura 12: Comparação de resultados aferidos e previstos mediante modelo numérico para partículas de madeira com comprimento entre 1.25 mm e 2.5 mm. [19]

REFERÊNCIAS

- 1_ Asdrubali F, Schiavoni S, Horoshenkov KV. A review of sustainable materials for acoustic applications. *Build Acoust* 2012;19(4):283–312
- 2_ Tang X, Yan X. Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review. *Composites: Part A* 101 (2017) 360–380
- 3_ Egab L, Wang X, Fard M. Acoustical characterisation of porous sound absorbing materials: a review. *Int. J. Vehicle Noise and Vibration*, Vol. 10, Nos. 1/2, 2014
- 3_ Cao, L.; Qiuxia, F.; Yang, S.; Bin, D.; Jianyong, Y. Porous materials for sound absorption. *Compos. Commun.* 2018, 10, 25–35
- 4_ Cox, Trevor J.. | D’Antonio, Peter. Acoustic absorbers and diffusers. Third edition. Boca Raton : Taylor & Francis, 2017. LCCN 2016027694 | ISBN 9781498740999.
- 5_ Biot, M. (1956a) ‘Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. I. Lowfrequency range’, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 28, No. 2, pp.168–178.
- 6_ Biot, M. (1956b) ‘Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. II. Higher frequency range’, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 28, No. 2, pp.179–191.
- 7_ DELANY, M. E.; BAZLEY, E. N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex (Gt. Britain). August, 1969. *AppliedAcoustics*(3) (1970).
- 8_ Johnson D L, Koplik J e Dashen R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluidsaturated porous media. *Journal of Fluid Mechanics / Volume 176 / March 1987*, pp 379 - 402. DOI: 10.1017/S0022112087000727, Published online: 21 April 2006
- 9_ Champoux Y, Allard J. Dynamic tortuosity and bulk modulus in airsaturated porous media. *Journal of Applied Physics* 70, 1975 (1991); doi: 10.1063/1.349482.
- 10_ Zhou B, Zhang J, Li X, Liu B. An Investigation on the Sound Absorption Performance of Granular Molecular Sieves under Room Temperature and Pressure. *Materials* 2020, 13, 1936; doi:10.3390/ma13081936
- 11_ ISO 10534-2 (Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer-function method).
- 12_ Abdi D D, Monazzam M, Taban E, Putra A, Golbabaie F, Khadem M. Sound absorption performance of natural fiber composite from chrome shave and coffee silver skin. *Applied Acoustics* 182 (2021) 108264. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108264>.
- 13_ Santoni A, Bonfiglio B, Fausti P, Marescotti C, Mazzanti V, Mollica F, Pompoli F. Improving the sound absorption performance of sustainable thermal insulation materials: Natural hemp fibres. *Applied Acoustics* 150 (2019) 279–289
- 14_ Glé P, Gourdon E, Arnaud L. Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics* 72 (2011) 249–259.
- 15_ Chabriac P.A, Gourdon E, Glé P, Fabbri A, Lenormand H. Agricultural by-products for building insulation: Acoustical characterization and modeling to predict micro-structural parameters. *Construction and Building Materials* 112 (2016) 158–167.
- 16_ Botterman B, Doudart de la Grée G.C.H, Hornikx M.C.J, Yu Q.L, Brouwers H.J.H. Modelling and optimization of the sound absorption of wood-wool cement boards. *Applied Acoustics* 129 (2018) 144–154.
- 17_ Bhingare N. H, Prakash S. An experimental and theoretical investigation of coconut coir material for sound absorption characteristics. *Materials Today: Proceedings* 43 (2021) 1545–1551.
- 18_ Mamtaz H, Fouladi M. H, Nuawi M. Z, Namasivayam, S.N, Ghassem M, Al-Atabi M. Acoustic absorption of fibro-granular composite with cylindrical grains. *Applied Acoustics* 126 (2017) 58–67.
- 19_ Boubel A, Garoum M, Bousshine S, Bybi A. Investigation of loose wood chips and sawdust as alternative sustainable sound absorber materials. *Applied Acoustics* 172 (2021) 107639.