RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o texto completo desta Dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/06/2021.

Universidade Estadual Paulista – UNESP
"Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais – POSMAT

"COMPÓSITO EXPANDIDO DE BORRACHA NATURAL COM MADEIRA: MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Laura Neves de Alencar

Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job

Presidente Prudente
2019

Laura Neves de Alencar

“COMPÓSITO EXPANDIDO DE BORRACHA NATURAL COM MADEIRA: MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL”

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos, Híbridos e Nano-Estruturados, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job.

Presidente Prudente

2019

Alencar, Laura Neves de.
Compósito expandido de borracha natural com madeira: materiais para isolamento térmico e acústico na construção civil / Laura neves de Alencar, 2019
46 f. : il.

Orientadora: Aldo Eloizo Job

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Bauru, 2019

1. Borracha natural. 2. Madeira. 3. Bio-compósito. 4. Isolamento térmico. 5. Isolamento acústico.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

Faculdade de Ciências

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LAURA NEVES DE ALENCAR, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS , DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 28 dias do mês de junho do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Unesp - Câmpus de Presidente Prudente, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB do(a) Departamento de Física / UNESP/Câmpus de Presidente Prudente, Profª. Drª. ANA MARIA PIRES do(a) Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Presidente Prudente, Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS - Orientador(a) do(a) Curso de Engenharia de Energia / Campus Experimental de Rosana - UNESP/Rosana, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LAURA NEVES DE ALENCAR, intitulada **"COMPÓSITO EXPANDIDO DE BORRACHA NATURAL COM MADEIRA: MATERIAIS PARA ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL"**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. ALDO ELOIZO JOB

Profª. Drª. ANA MARIA PIRES

Prof. Dr. RENIVALDO JOSE DOS SANTOS

Dedico esse trabalho a minha mãe, ***Magda****, e minhas tias,* ***Maria Francisca e Monica*** *por serem minhas inspirações na carreira acadêmica.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por infinitos motivos, mas principalmente por colocar as pessoas certas no meu caminho.

Agradeço aos amigos pelo amor, eu nunca fui tão feliz e me diverti tanto como sou depois de conhecer vocês.

Ao Rafael maranhão que me fez acreditar novamente nas pessoas.

A minha amiga Letícia que me acolheu quando eu não tinha mais ninguém e me mostrou que a vida sempre pode melhorar.

Ao meu amigo César que me inspira a ter uma opinião justa e fiel ao que penso.

A minha amiga Camila que se tornou meu coração, e me ensina a ser melhor.

Ao meu amigo Régis por ser meu companheiro, por me amar exatamente como eu sou e sempre dizer o que sente.

Aos meus amigos Thiago e Luís Felipe que eu amei na primeira conversa.

Aos meus amigos Lincoln, Ricardo, Renan e Thawanne. Há sempre algo bom, alguém bom pra toda fase difícil e vocês foram o que tive na minha rotina durante 4 longos meses.

Agradeço aos meus avós por proporcionarem toda doçura e proteção que um lar poderia ter.

A minha irmã, Luísa, quem me ensina diariamente a lutar por mim e por quem eu amo,

a minha tia "Kika" e prima Isadora por me mostrarem que a felicidade e o amor são o que há de mais precioso nesse mundo,

a minha tia Monica que me ensina a não ser tão dura comigo mesma, que a vida pode me dar tudo é só saber pedir,

ao meu pai, Rafael, que me ensinou a amar sem exigir, sem cobrar, sem querer mudar.

E a agradeço principalmente a mulher responsável por toda a minha história, quem eu admiro profundamente. Ela é minha mãe, pai, amiga, conselheira e exemplifica que vale a pena estudar, que vale a pena ser bom e ter caráter. Te amo, Dona Magda.

Ao professor Fernando Okimoto por confiar a ideia desse trabalho a mim, por sempre estar disponível aos alunos interessados e pela paciência.

Agradeço ao Flávio Cabrera que mesmo com todas as minhas dificuldades acreditou na minha capacidade e tornou essa pesquisa em realidade.

Ao professor Aldo E. Job por me apresentar e incluir ao grupo de pesquisa LTBA.

Ao Professor Miguel A. Rodrigues Pérez e a Leandra O. Salmazo pela parceria no projeto e disposição em ajudar os alunos da Unesp.

Agradeço ao meu amigo Fábio F. Paiva não só pela participação ativa nesse projeto, mas também pelo coração enorme.

Agradeço a minha amiga Williene F. Penha Bezerra que ser tornou essencial nesses dois anos e meio, foi quem me acompanhou desde o começo, com quem eu dividi horas de estudos, lágrimas e risadas.

Agradeço ao meu amigo Guilherme Dognani pela disposição de me ajudar sempre.

Agradeço a oportunidade de estar cursando mestrado na Unesp e a todos do grupo LTBA: Dalita, Gabriel, Gabrielli, Giovani, Saulo, Sheila e Vitor.

RESUMO

Com os avanços na área de construção civil e crescimento da população mundial, torna-se necessário desenvolver políticas para o gerenciamento e reaproveitamento dos resíduos gerados a fim de evitar descarte incorreto, contaminações ambientais além de gerar novos materiais de engenharia agregando valor aos resíduos. Para tanto, propõe-se o uso de borracha natural expandida como matriz polimérica para incorporação do resíduo de eucalipto, como carga de reforço, para a produção de biocompósitos aplicados como isolamento térmico e acústico na construção civil. O resíduo de madeira foi micronizado e incorporado a borracha natural nas proporções de 20, 40 e 60 phr. A estrutura celular bem como a densidade relativa, densidade celular, tamanho e distribuição dos poros nos compósitos foram estudados. Determinou-se sua capacidade de isolamento térmico pelo método da fonte plana transiente (TPS) e acústico por meio do tubo de impedância. As espumas de BN/M_{40} e BN/M_{60} apresentaram ampliação da capacidade de isolamento acústico em relação a borracha natural, sem resíduos, atribuído uma redução no tamanho de poros e espessamento de paredes de células. BR/M_{40} registrou o maior pico de absorção de 0,83 a uma frequência de 3257 Hz, mais de três vezes maior que a borracha natural, semelhante à absorção de poliuretano que apresenta cerca de 0,70 para espumas rígidas e 0,90 para os flexíveis a 4000 Hz. O compósito BN/M_{60} mostra uma absorção distinta entre 1500 e 2500 Hz, o que indica que as amostras podem ser usadas como absorvedor de som dentro de uma determinada faixa de frequência e se tornar um material alternativo para isolamento acústico de edifícios como forma de reutilização de resíduos de madeira.

Palavras-chave: *Borracha natural; madeira; bio-compósito; isolamento térmico; isolamento acustico.*

ABSTRACT

With advances in the area of civil construction and world population growth, it becomes necessary to develop policies for the management and reuse of generated waste in order to avoid incorrect disposal, environmental contamination and, as consequence, generate new engineering materials adding value to the waste. Therefore, it is proposed the use of expanded natural rubber as polymeric matrix with incorporation of the eucalyptus residue as reinforcing filler for the production of eco-composites to be applied as thermal and acoustic insulation in civil construction. The wood residue was micronized and incorporated into the natural rubber in proportions of 20, 40 and 60 phr. The cell structure as well as the relative density, cell density, size and pore distribution in the composites were studied. The thermal insulation capacity was determined by the transient flat source (TPS) and acoustic method by means of the impedance tube. The foams of NR/W_{40} and NR/W_{60} showed amplification of the acoustic insulation capacity in relation to natural rubber without residues attributed to a reduction in the pore size and thickening of cell walls. NR/W_{40} recorded the highest absorption peak of 0.83 at a frequency of 3257 Hz, more than three times higher than natural rubber, similar to polyurethane absorption which presents around to 0.70 for rigid foams and 0.90 for the flexibles at 4000 Hz. The NR/W_{60} composite shows a distinct absorption between 1500 to 2500 Hz which indicate that the samples can be used as a sound absorber within a certain frequency range and, become an alternative material for acoustic insulation of buildings as a form to wood waste reuse.

Keywords: *Natural rubber;* wood; eco-composites; thermal insulation; sound insulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) Extração do látex da Seringueira, (b) Estrutura química do poli (cis-1,4-isopreno). 4
Figura 2. (a) Estrutura de células abertas, (b) Estrutura de células fechadas, (c) Estrutura de células mista. [Modificado de 49]. 8
Figura 3. Compósitos expandidos (a) BN, (b) BN/M20 e (c) BN/M40. 15
Figura 4. NR/M40 (a) antes da vulcanização, (b) após a vulcanização. 16
Figura 5. Estrutura das espumas (a) BN, (b) BN/M20, (c) BN/M40 e (d) BN/M60. 20
Figura 6. Estrutura celular da espuma BN/M20: (1) pele, (2) região de transição e (3) região central. 21
Figura 7. Histogramas: BN, BN/M20, BN/M40 e BN/M60. 22
Figura 8. Imagens dos orifícios nas paredes celulares a) BN, b) BN/M20, c) BN/M40, d) BN/M60. 24
Figura 9. Imagens da fibra de madeira (a) 1 KX, (b) 4 KX. 26
Figura 10. Espectro da madeira por energia dispersiva de raios X. 26
Figura 11 Espectros de absorção no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) no modo ATR do resíduo de madeira e da azodicarbonamida. 27
Figura 12. Espectros de absorção no infravermelho com transformada de fourier (FT-IR) no modo ATR dos compósitos expandidos BN e BN/M60 e sólidos BNS e BNS/M60. 28
Figura 13. Curva termogravimétrica do Azodicarbonamida. 29
Figura 14. Curva termogravimétrica do resíduo de madeira. 30
Figura 15. Curva rermogravimétrica dos compósitos expandidos. 31
Figura 17. Calorimetria exploratória diferencial dos compósitos espumados. 33
Figura 18. Calorimetria Diferencial de Varredura dos compósitos sólidos. 33
Figura 19. Coeficiente de absorção sonora dos compósitos espumados. 36

,

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulação clássica de goma pura.....13
Tabela 2. Formulação dos compósitos espumados.....14
Tabela 3. Formulação dos compósitos sólidos.....14
Tabela 4. Densidade relativa, porosidade e densidade celular. 23
Tabela 5. Medida de células abertas.....24
Tabela 6. Fluorescência de raio-X da madeira.....25
Tabela 7. Energia dispersiva de raios X do resíduo. 25
Tabela 8. Módulo de elasticidade dos compósitos espumados.....34
Tabela 9. Condutividade térmica dos compósitos. 35

LISTA DE ABREVIATURAS

Å *Angstrom*

ABNT *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ADC *Azodicarbonamida*

ASTM *American Society for Testing and Materials*

BN *Borracha natural expandida*

BN/M$_{20}$ *Borracha natural expandida com de 20 phr de cagar de madeira*

BN/M$_{40}$ *Borracha natural expandida com de 40 phr de cagar de madeira*

BN/M$_{60}$ *Borracha natural expandida com de 60 phr de cagar de madeira*

BNS *Borracha natural*

BNS/M$_{20}$ *Borracha natural com de 20 phr de cagar de madeira*

BNS/M$_{40}$ *Borracha natural com de 40 phr de cagar de madeira*

BNS/M$_{60}$ *Borracha natural com de 60 phr de cagar de madeira*

DSC *Calorimetria Diferencial de Varredura*

GW *Gigawatt*

MBTS *Dissulfeto de dibenzotiazol*

NBR *Normas Brasileiras*

phr *Parts per hundred of rubber*

TG Termogravimetria

TMTM *Monossulfeto de tetrametil tiuram.*

TPS *Método da fonte plana transiente*

WPC Wood–Polymer Composites

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO *1*
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLÍOGRAFICA *3*
1.1 Látex e Borracha Natural *3*
1.2 Resíduo de Madeira *4*
1.3 Compósitos *5*
1.4 Agentes Expumantes *6*
1.5 Espumas Expansivas *7*
1.5.1 Estrutura da Célula *8*
1.5.2 Distribuição do tamanho das células e tamanho das células *9*
1.5.3 Anisotropia *9*
1.6 Mecanismo de formação de poros *10*
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS *12*
2.1 Crepe claro brasileiro – RRIM 600 ..... *12*
2.2 Serragem de Eucalipto *12*
2.3 Reagentes *12*
2.4 Composição inicial *12*
2.5 Método de Preparação *13*
2.6 Ensaios de Caracterização. *15*
2.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) *15*
2.6.2 Densidade Relativa *16*
2.6.3 Tamanho da célula e distribuição do tamanho das células *17*
2.6.4 Densidade Celular *17*
2.6.5 Conteúdo de células abertas *17*
2.7 Componentes estruturais *18*
2.7.1 Fluorescência de Raio X *18*
2.7.2 Espectrômetro de absorção no infravermelho com transformada de fourier (FT-IR) no modo ATR *18*
2.8 Análise Térmica *18*
2.8.1 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) *18*
2.8.2 Termogravimetria (TG) *18*
2.9 Ensaio de compressão *19*
2.10 Método da fonte plana Transiente (TPS) *19*
2.11 Método do tubo de impedância *19*

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES 20
3.1 Caracterização da espuma 20
3.1.1 Estrutura Celular 20
3.1.2 Tamanho da célula e distribuição do tamanho das células 21
3.1.3 Densidade relativa e Densidade celular 22
3.1.4 Medida de células abertas 23
3.2 Componentes estruturais 25
3.2.1 Fluorescência de Raio X 25
3.2.2 Energia dispersiva de raios X (EDX) 25
3.2.3 Espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de fourier (FT-IR) no modo ATR 26
3.3 Análise Térmica 28
3.3.1 Termogravimetria (TG) 28
3.3.2 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) 31
3.4 Ensaio mecânico de compressão 34
3.5 Condutividade Térmica 34
3.6 Ensaio Acústico 35
4. CONCLUSÃO 38
REFERÊNCIAS 39

INTRODUÇÃO

A madeira representa um recurso natural utilizado principalmente em embalagem, construção, mobiliário e geração de energia. Na Europa, cerca de 46% da madeira no fim da vida são reciclados e 51% incinerados [1]. Atualmente, a reciclagem de resíduos de madeira envolve a produção de painéis [2,3], pellets [4], compostagem [5] e cama de animais [6]. No Brasil, os resíduos de madeira foram aplicados na geração de energia, produzindo 0,43 GW em 2018, no entanto, 493.500 toneladas não foram especificadas e destinadas a aterros sanitários [7]. Por outro lado, as fibras de madeira também têm sido aplicadas na fabricação de vidro [8], aglutinante na produção de painéis [9], biocarvão para modificar a trabalhabilidade do solo, aumentando a resistência à compactação [10]. No entanto, os resíduos de madeira ainda são erroneamente descartados em todo o mundo, gerando preocupações ambientais ou até mesmo aumentando os custos de produção com manuseio e descarte em aterros sanitários.

Quando associado a polímeros, na fabricação de compósito de madeira sintética (Wood–Polymer Composites - WPC) [11, 12, 13, 14, 15] fibras de madeira são utilizadas na substituição de artefatos de madeira, além de aplicações a funções estruturais (vigas) [16]. Polímeros são amplamente utilizados na construção civil, principalmente relacionados a materiais de poliuretano, em termos de isolamento térmico e acústico para produção de espumas [17,18,19, 20, 21]. Além dessas aplicações, as espumas têm sido exploradas como revestimento de stents [22], dispositivos de blindagem [23], sensores de deformação [24], entre outros. No entanto, o poliuretano é produzido a partir de materiais petroquímicos [25], ou seja, um recurso não renovável e, também, gera problemas ambientais durante o procedimento de obtenção. Portanto, espumas poliméricas de base biológica tem crescente interesse como materiais alternativos, como espumas de poliuretano produzidas a partir de óleo de pirólise [25, 23], de lignina Kraft [26] e polióis obtidos pela liquefação de eucalipto [27]. Desta forma, a borracha natural surge como uma alternativa renovável. Atualmente as cargas utilizadas são cargas ativas, como a sílica ou o negro de fumo, prejudiciais a saúde humana [28]. Nessas circunstâncias, surgiram estudos para substituí-los, os biocompósitos ganharam destaque na incorporação de resíduos orgânicos e industriais, como bagaço-de-cana [29], resíduo de couro [30], palha de cereais [31], madeira [32]. Como espumas, a

borracha natural também tem sido usada para o conforto na fabricação de materiais de cama [33], adsorvente de óleo [34], sensores vestíveis [35], dissipadores de calor em certos sistemas ou dispositivos eletrônicos [36] e isolamento acústico [37].

As pesquisas já realizadas em borracha natural com carga de madeira concentram-se nos estudos das propriedades mecânicas em função do tamanho das fibras [38], doses de irradiação [39], sistema de vulcanização [40] e tratamento térmico das fibras [32]; outras propriedades foram pouco exploradas.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um biomaterial, reutilizando resíduos de madeira e incorporando-os em compósitos expandidos de borracha natural como uma alternativa para o uso de espumas na construção civil. Os compósitos serão avaliados quanto às propriedades térmicas, mecânicas e estruturais, com ênfase nas características termoacústicas, validando a aplicação como material de vedação na construção.

4. CONCLUSÃO

Espumas de borracha natural foram produzidas usando azodicarbonamida como agente de expansão e enxofre como agente de reticulação. Resíduos de madeira de Eucaliptus spp. foi usado como um enchedor de reflorestamento produzindo compósitos de espuma (NR / W20, NR / W40 e NR / W60. As propriedades morfológicas, comportamento mecânico, absorção sonora e condutividade térmica foram avaliadas para todos os compósitos de forma sutil.

As fibras de madeira diminuem o tamanho das células, bem como aumentam a espessura da parede celular, no entanto, todas as espumas apresentam estruturas celulares altamente inomogêneas, o que resulta em uma ampla distribuição de diferentes tamanhos de células. A densidade relativa aumenta proporcionalmente os resíduos carregados, porém o NR / W40 teve uma redução de densidade devido à degeneração celular.

Os resultados mostraram que os resíduos carregados influenciam na absorção sonora. O aumento do módulo de compressão e armazenamento justifica-se pela diminuição do tamanho das células por unidade de volume e consequente aumento da parede celular aumentando a rigidez do compósito. A eficiência do isolamento térmico está associada à densidade da espuma; no entanto, não foram obtidas alterações significativas com a adição do resíduo de eucalipto. Mesmo com o aumento da condutividade térmica, os valores estão próximos ao comercialmente utilizado, possibilitando sua aplicação em um sistema que combina outros painéis.

REFERÊNCIAS

[1] Faraca G., Boldrin A., Aatrup T. Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. Waste Management, v. 87, p. 135-147, 2019.

[2] Rofii M. N., Yumigeta S., Kojima Y., Suzuki S.. Effect of furnish type and high-density raw material from mil residues on properties of particleboard panels. Journal of Wood Science, v. 59, p. 402-409, 2013.

[3] Azambuja R. R, Castro V. G., Trianoski R., Iwakiri S. Utilization of construction and demolition waste for particleboard production. Journal of Building Engineering, v. 20, p. 488-49, 2018.

[4] Lu D., Tabil L. G., Wang D., Wang G., Emami S.. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. Biomass and Bioenergy, v. 69, p. 287-296, 2014.

[5] Kebibeche H., Khelil O., Kacem M., Harche M. K. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. Ecotoxicology and environmental safety, v. 168, p. 423-430, 2019.

[6] WILLIS, G. L. Animal bedding material. U.S. Patent n. 5,964,187, 1999.

[7] IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBA 2017. São Paulo. 2017

[8] Li, T., Zhu, M., Yang, Z., Song, J., Dai, J., Yao, Y., Luo W., Pastel G., Yang B., Hu, L. Wood composite as an energy efficient building material: Guided sunlight transmittance and effective thermal insulation. Advanced Energy Materials, v. 6, n. 22, p. 1601122, 2016.

[9] Souza, A. M., Nascimento, M. F., Almeida, D. H., Silva, D. A. L., Almeida, T. H., Christoforo, A. L., Lahr, F. A. . Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative. Journal of Cleaner Production. v. 193, p. 549-562, 2018.

[10] Ahmed, A. S. F.; Raghavan, V. Influence of wood-derived biochar on the physico-mechanical and chemical characteristics of agricultural soils. Int. Agrophys, v. 32, p. 1-10, 2018.

[11] Friedrich, D. Effects from natural weathering on long-term structural performance of wood-polymer composite cladding in the building envelope. Journal of Building Engineering, v. 23, p. 68-76, 2019.

[12] Bütün F. Y, Sauerbier P., Militz H., Mai, C. The effect of fibreboard (MDF) disintegration technique on wood polymer composites (WPC) produced with recovered wood particles. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 118, p. 312-316, 2019.

[13] Saddem M., Koubaa A., Bouafif H., Migneault S., Riedl B. Effect of fiber and polymer variability on the rheological properties of wood polymer composites during processing. Polymer Composites, v. 40, n. S1, p. E609-E616, 2019

[14] Dimitriou A., Hale M. D., Spear, M. J. The effect of pH on surface activation of wood polymer composites (WPCs) with hydrogen peroxide for improved adhesion. International Journal of Adhesion and Adhesives, v. 85, p. 44-57, 2018.

[15] Fortini A., Mazzanti V. Combined effect of water uptake and temperature on wood polymer composites. Journal of Applied Polymer Science, v. 135, n. 35, p. 46674, 2018.

[16] Heiduschke, A.; Haller, P. Fiber-Reinforced Plastic-Confined Wood Profiles Under Axial Compression. Structural Engineering International. Structural Engineering International, v. 3. p. 246-253. 2010.

[17] Shau-Tarng, L.; Park, C.B., Ramesh, N.S. Polymeric Foams. Science and Technology. Taylor & Francis Group, Broken , 2007.

[18] VELAR,W.D.; Química e Tecnologia dos Poliuretanos 2ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 1999.

[19] Wu, L. W; et all. Flexible polyurethane foam-based sandwich composites: Preparation and evaluation of thermal, acoustic, and electromagnetic properties. Journal of Apllied PolymerScience. v. 135, p. 48. 2018.

[20] Kirpluks, M., Kalnbunde, D., Benes, H., & Cabulis, U. Natural oil based highly functional polyols as feedstock for rigid polyurethane foam thermal insulation. Industrial Crops & Products, v. 122, p. 627-636. 2018.

[21] Cao L., Fu Q., Si Y., Ding B., Yu J.. Porous materials for sound absorption. Composites Communications. v. 10, p. 25-35. 2018.

[22] Chen, W., di Carlo, C., Devery, D., McGrath, D. J., McHugh, P. E., Kleinsteinberg, K., Jockenhoevel S., Hennink W. E., Kok, R. J. Fabrication and characterization of gefitinib-releasing polyurethane foam as a coating for drug-eluting stent in the treatment of bronchotracheal câncer. International Journal of Pharmaceutics, v. 548, p. 803-811. 2018.

[23] Idowu, A.; Boesl, B.; Agarwal, A. 3D graphene foam-reinforced polymer composites - A review. Carbon, v. 135, p. 52-71. 2018.

[24] Hu, T., Xuan, S., Ding, L., Gong, X. Stretchable and magneto-sensitive strain sensor based on silver nanowire-polyurethane sponge enhanced magnetorheological elastomer. Materials and Design, v. 156, p. 528-537. 2018.

[25] Schulzke, T., Iakovleva, A., Cao, Q., Conrad, S., Zabelkin, S., Grachev, A.. Polyurethane foams produced from pyrolysis oil – Production and possible

application. Biomass and Bioenergy, v. 115, p. 195-202. 2018.

[26] Mahmood, Z. Yuan, J. Schmidt, C. C. Xu. Preparation of bio-based rigid polyurethane foam using hydrolytically depolymerized Kraft lignin via direct replacement or oxypropylation. European Polymer Journal, v. 68, p. 1-9, 2015.

[27] Domingos I. J., Fernandes A. P., Ferreira J., Cruz-Lopes L., Esteves B. M. Polyurethane Foams from Liquefied Eucalyptus globulus Branches. BioResources, v. 14, p. 31-43, 2019.

[28] Stellman, J. M. Encyclopaedia of occupational health and safety. International Labour Organization, 1998.

[29] de Paiva, F. F. G., de Maria, V. P. K., Torres, G. B., Dognani, G., dos Santos, R. J., Cabrera, F. C., Job, A. E. Sugarcane bagasse fiber as semi-reinforcement filler in natural rubber composite sandals. Journal of Material Cycles and Waste Management. v. 21, n. 2, p. 326-335, 2019.

[30] Santos, R. J., Agostini, D. L., Cabrera, F. C., Budemberg, E. R., & Job, A. E. Recycling Leather Waste: Preparing and Studying on the Microstructure, Mechanical, and Rheological Properties of Leather Waste/Rubber Composite. POLYMER COMPOSITES. v. 36. p. 2275-2281, 2015.

[31] Masłowski, M., Miedzianowska, J., Strzelec, K. Natural Rubber Composites Filled with Cereals Straw Modified with Acetic and Maleic Anhydride: Preparation and Properties. Journal of Polymers and the Environment, v. 26, n. 10, p. 4141-4157, 2018.

[32] Tavassoli, F., Razzaghi-Kashani, M., & Mohebby, B. Hydrothermally treated wood as reinforcing filler for natural rubber bio-composites. Journal of Polymer Research, v. 25, n. 1, p. 3, 2018.

[33] Huang, M. Zhang, C. Guo, L. Shi, L, P. Lin . Experimental investigations on the effects of bottom ventilation on the fire behavior of natural rubber latex foam. Applied Thermal Engineering, v. 133, p. 201-210, 2018.

[34] Chin C. C., Musbah N. D. L., Abdullah I., Lazim A. M. Characterization and Evaluation of Prudent Liquid Natural Rubber-Based Foam for Oil Spill Control Application. Arabian Journal for Science and Engineering, v. 43, p. 6097-6108, 2018.

[35] Zhang W., Yin B., Wang J., Mohamed A., Jia H.. Ultrasensitive and wearable strain sensors based on natural rubber/graphene foam. Journal of Alloys and Compounds, v. 785, p. 1001-1008, 2019.

[36] Tangboriboon N., Rortchanakarn S., Petcharoen K., Sirivat A.. Effects of Foaming Agents and Eggshell Calcium Carbonate (CaCO3) Filler on Natural Rubber foam Physical-Thermal-Mechanical Properties. Journal of Rubber Research, v. 19m n. 2, p. 71-96, 2016.

[37] Najib N. N., Ariff Z. M, Bakar A. A, Sipaut, C. S.. Correlation between the acoustic and dynamic mechanical properties of natural rubber foam: Effect of foaming temperature. Materials & Design, v. 32, n. 2, p. 505-511, 2011

[38] Ichazo M. N., Hernández M., Albano C., González J. Curing and physical properties of natural rubber/wood flour composites. In: Macromolecular symposia. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, v. 239, n. 1, p. 192-200, 2006

[39] Manaila, E., Stelescu, M., Craciun, G., & Ighigeanu, D. Wood sawdust/natural rubber ecocomposites cross-linked by electron beam irradiation. Materials, v. 9, n. 7, p. 503, 2016.

[40] Ismail, H., Jaffri, R. M., & Rozman, H. D. The effects of filler loading and vulcanisation system on properties of oil palm wood flour-natural rubber composites. Journal of Elastomers & Plastics, v. 35, n. 2, p. 181-192, 2003.

[41] MANO, E. B; MENDES, L.C., Introdução a Polímeros, Edgard Blücher, 2a.edição, 1999.

[42] LOKENSGARD, E. Plásticos Industriais, Cengage Learning. 5ºedição, 2014.

[43] Brydson, J. A. Rubber Chemistry. Relatório. Applied science publishers Ltd. 1º edição, 1978.

[44] Han, C. C., Sabu T., Laly P., Jithin J., Hanna M. Natural Rubber Materials. RSC Publishing, v. 2 – Composites and Nanocomposites, 2014.

[45] Rippel, M. M., Bragança, F. F. Borracha natural e nanocompósitos com argila. Quimica Nova, v. 32, p. 818-826, 2009.

[46] Van Beilen, J. B., Poirier, Y. Establishment of new crops for the production of natural rubber, v. 25, n. 11, p. 522-529, 2007.

[47] ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos – Classificação. 2º edição, 2004.

[48] Ruivo, M. D. L. P., Castro, R. M. D. S., Ramos, W. F., Porro, R., Sousa, L. M. D., Jardim, M. A. G. Análise da Indústria Madeireia na Amazônia: Gestão, uso e armazenamento de resíduos. RBCIAMB. v. 43, p.1-16, 2017.

[49] Quirino, W. F. UTILIZAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS VEGETAIS. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS LPF/IBAMA.14p, 2003.

[50] Araujo, H. J. B. Aproveitamento de Resíduos das Indústrias de Serraria do Acre para Fins Energéticos. EMBRAPA, *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*. 2003.

[51] CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. Artiliber editora, São Paulo, p. 110-115, 2002.

[52] Bloyaert, C. New PVC resin for wood–polymer composites. Plastics,Rubber and Composites, v. 37, p. 383-387. 2008.

[53] Jones, R. M. Mechanics of composite materials. 2º edition. Taylor e Francis. 1999.

[54] Shau-Tarng, L.; Park, C.B., Ramesh, N.S. Polymeric Foams. Science and Technology. Taylor & Francis Group, Broken , 2007.

[55] M John M. J, Thomas S. Biofibres and biocomposites. Carbohydrate polymers, v. 71, n. 3, p. 343-364, 2008.

[56] NIAOUNAKIS, M. Chapter 9-Foaming and Foamed Products. Biopolymers: Processing and Products, William Andrew Publishing, Oxford, p. 327-359, 2015.

[57] HECK III, Rhomie L. A review of commercially used chemical foaming agents for thermoplastic foams. Journal of Vinyl and Additive Technology, v. 4, n. 2, p. 113-116, 1998.

[58] Quinn, Stephen. "Chemical blowing agents: providing production, economic and physical improvements to a wide range of polymers." *Plastics, Additives and Compounding*v .3, n. 5, p. 16-21, 2001.

[59] E. L. Gonzalez , L. O. Salmazo, A. L. Gil, M. A. R. Perez. Study of the effect of different electron irradiation doses on the decomposition temperature of azodicarbonamide. Polymer Engineering & Science. v. 59, n. 4, p. 791-798, 2019.

[60] Lee, S. T., Park, C. B., & Ramesh, N. S. *Polymeric foams: science and technology*. CRC press, 2006.

[61] Klempner, D.; Frisch, K.C. Handbook of polymeric foams and foam technology.Hanser Publishers. 1991

[62] Shutov F. A. Foamed Polymers. Cellular Structure and Properties, in Advances in Polymer Science, 51. 157- 2 15, Springer-Verlag. Berlin (1983).

[63] Mark J. E. Polymeros foams Handbook, 2nd Edition. Springer Science, 2007.

[64] Gibson, L.J.; Ash, M.F. Cellular Solids: Structure and Properties. 2th ed. Cambridge University Press: Cambridge, 1997.

[65] Colton, J.S.; Suh, N.P. The nucleation of microcellular thermoplastic foam with additives: Part I: Theoretical considerations. *Polymer Engineering & Science*, v. 27, p. 485–492, 1987.

[66] McClurg, R.B. Design criteria for ideal foam nucleating agentes. *Chemical Engineering Science*, v.59, p. 5779–5786, 2004.

[67] Liu, P.; Liu, D.; Zou, H.; Fan, P.; Xu, W. Structure and properties of Closed-Cell foam prepared from irradiation crosslinked silicone rubber. *Journal of Applied Polymer Science.* v.113, p.3590–3595, 2009.

[68] American Society for Testing and Materials (ASTM). “ASTM D 3182 – 89 Standard Practice for Rubber—Materials, Equipment, and Procedures for Mixing Standard Compounds and Preparing Standard Vulcanized Sheets”, USA. Disponível em: http://files.instrument.com.cn/bbs/upfile/2007118155512.pdf.

[69] American Society Testing and Materials (ASTM). “ ASTM D1622/D1622M − 14. Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics”. Annual Book of ASTM Standards.

[70] Kumar V. Process synthesis for manufacturing microcellular thermoplastic parts. PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1988.

[71] American Society Testing and Materials (ASTM). “ASTM D6226-10.Standard Test Method for Open Cell Content of Rigid Cellular Plastics” .Annual Book of ASTM Standards.

[72] American Society Testing and Materials (ASTM). “ASTM, D. 1621, Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics”. American Society for Testing and Materials, New York, 2010.

[73] Wongpa J., Kiattikomol K., Jaturapitakkul C., Chindaprasirt P. Compressive strength, modulus of elasticity, and water permeability of inorganic polymer concrete. Materials & Design, v. 31, n. 10, p. 4748-4754, 2010.

[74] International Organization for Standardization .ISO/DIS 22007-2.2, Standards, (2008).

[75] American Society Testing and Materials (ASTM). “ASTM E1050-10. Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system”. American Society for Testing and Materials.

[76] Jahani, D., Ameli, A., Saniei, M., Ding, W., Park, C. B., Naguib, H. E. Characterization of the Structure, Acoustic Property, Thermal Conductivity nd Mechanical Property of Highly Expanded Open-Cell Polycarbonate Foams. Macromolecular Materials and Engineering, v. 300, n. 1, p. 48-56, 2015.

[77] Jahani, D., Ameli, A., Jung, P. U., Barzegari, M. R., Park, C. B., & Naguib, H. Open-cell cavity-integrated injection-molded acoustic polypropylene foams. Materials & Design, v. 53, p. 20-28, 2014.

[78] Pilla, S., Kramschuster, A., Yang, L., Lee, J., Gong, S., & Turng, L. S. . Microcellular injection molding of polylactide with talc. J Cell Plast, v. 29, n. 4, p.

1258-1265, 2009..

[79] Gil, A. L., Bellucci, F. S., Velasco, D., Ardanuy, M., Perez, M. A. R. Cellular structure and mechanical properties of starch-based foamed blocks reinforced with natural fibers and produced by microwave heating. Industrial crops and products, v. 66, p. 194-205, 2015.

[80] Bernardo, V., Gutierrez, E. L., Gil, A. L., Perez, M. A R. Highly anisotropic crosslinked HDPE foams with a controlled anisotropy ratio: Production and characterization of the cellular structure and mechanical properties. Materials & Design, v. 114, p. 83-91, 2017.

[81] OLIVEIRA-SALMAZO, Leandra et al. Natural rubber foams with anisotropic cellular structures: Mechanical properties and modeling. **Industrial Crops and Products**, v. 80, p. 26-35, 2016.

[82] TOMYANGKUL, Supitcha et al. Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers. Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 35, n. 8, p. 688-697, 2016.

[83] SOCRATES, G. Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. John Wiley & Sons, 2004.

[84] Sun, Y., & Xue, B. Understanding structural changes in the lignin of Eucalyptus urophylla during pretreatment with an ionic liquid-water mixture. Industrial crops and products, v. 123, p. 600-609, 2018.

[85] Dall'antonia, A.C.; Martins, M.A.; Moreno, R.M.B.; Mattoso, L.H.C.; GONÇALVES, P.S.; JOB, A.E. Caracterização mecânica e térmica da borracha natural formulada e vulcanizada dos clones: GT 1, IAN 873, PB 235 e RRIM 600. Polímeros v.19, p.63-71, 2009

[86] Fishwick, M. J., Anthony J. Wright. Comparison of methods for the extraction of plant lipids. *Phytochemistry, v.* 16, n. 10, p. 1507-1510, 1977.

[87] Lally, R. E., Alter L. M. ACTIVATOR PERFORMANCE IN PRODUCTION OF VINYL FOAM-ORGANO-METALLIC ACTIVATOR USED TO LOWER DECOMPOSITION TEMPERATURE OF BLOWING AGENT. SPE JOURNAL, v. 23, n. 11, p. 69-&, 1967.

[88] MARSHALL, R. A. Blowing agent decomposition in vinyl foams. Journal of Vinyl Technology, v. 13, n. 3, p. 144-147, 1991.

[89] Oudia, A., Mészáros, E., Simões, R., Queiroz, J., & Jakab, E. Pyrolysis-GC/MS and TG/MS study of mediated laccase biodelignification of Eucalyptus globulus kraft pulp. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 78, n. 2, p. 233-242, 2007.

[90] Jakab E., Faix O., Till F. Thermal decomposition of milled wood lignins studied by thermogravimetry/mass spectrometry. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 40, p. 171-186, 1997.

[91] THOMAS, S.; GROHENS, Y.; JYOTISHKUMAR, P. (Ed.). Characterization of polymer blends: miscibility, morphology and interfaces. John Wiley & Sons, 2014.

[92] Labarta, J. A. R, Olaya, M. D. M., Marcilla, A.. DSC study of transitions involved in thermal treatment of foamable mixtures of PE and EVA copolymer with azodicarbonamide. Journal of applied polymer science, v. 102, n. 3, p. 2015-2025, 2006.

[93] El Eraki, M. H., El Lawindy, A. M. Y., Hassan, H. H., & Mahmoud, W. E. Mahmoud.The physical properties of pressure sensitive rubber composites. Polymer Degradation and Stability, v. 91, n. 7, p. 1417-1423, 2006.

[94] Osman, M. A., Atallah, A., Suter, U. W.. Suter. Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE–calcium carbonate composites. Polymer, v. 45, n. 4, p. 1177-1183, 2004.

[95] Gibson L. J., Ashby, M. J. Cellular Solids: Structure and Properties, (2nd ed.) Cambridge University Press, Cambridge, UK 1997

[96] Cavasin, M., Giannis, S., Salvo, M., Casalegno, V., Sangermano, M. Mechanical and thermal characterization of an epoxy foam as thermal layer insulation for a glass fiber reinforced polymer. Journal of Applied Polymer Science, v. 135, n. 47, p. 46864.

[97] Gao, J., Wang, J., Xu, H., Wu, C. Preparation and properties of hollow glass bead filled silicone rubber foams with low thermal conductivity. Materials & Design, v. 46, p. 491-496, 2013.

[98] Choe H., Choi Y., Kim Y., Hyeun J. Threshold cell diameter for high thermal insulation of water-blown rigid polyurethane foams. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 73, p. 344-350, 2019.

[99] Liu K., Takagi H., Osugi R., Yang Z. Effect of physicochemical structure of natural fiber on transverse thermal conductivity of unidirectional abaca/bamboo fiber composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 43, n. 8, p. 1234-1241, 2012.

[100] Arkar C., Domjan S., Medved S. Lightweight composite timber façade wall with improved thermal response. Sustainable cities and society, v. 38, p. 325-332, 2018.

[101] António J., Tadeu A., Marques B., Almeida J. A., Pinto V. Application of rice husk in the development of new composite boards. Construction and Building Materials, v. 76, p. 432-439, 2018.

[102] Colom X., Cañavate J., Carrillo F, Lis M. J. Acoustic and mechanical properties of recycled polyvinyl chloride/ground tyre rubber composites. Journal of Composite Materials, v. 48, n. 9, p. 1061-1069, 2014.

[103] Wu L. W, Ban J. Y., Jiang Q., Li T. T., Shiu B. C., Peng H. K., Huang, S W., Lou C. W., Lin J. H. Flexible polyurethane foam-based sandwich composites:

Preparation and evaluation of thermal, acoustic, and electromagnetic properties. Journal of Applied Polymer Science, v. 135, n. 48, p. 46871, 2018.

[104] Han F., Seiffert G., Zhao Y., Gibbs B. Acoustic absorption behaviour of an opencelled aluminium foam. J Phys D Appl Phys, v. 36, n. 3, p.294–302, 2003.