

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**COMPÓSITO DE POLIURETANO DE MAMONA E RESÍDUO INDUSTRIAL PARA
ISOLAÇÃO TÉRMICA E ABSORÇÃO SONORA**

Maria Cleide Ribeiro de Oliveira

Natal/RN
Julho 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**COMPÓSITO DE POLIURETANO DE MAMONA E RESÍDUO INDUSTRIAL PARA
ISOLAÇÃO TÉRMICA E ABSORÇÃO SONORA**

Maria Cleide Ribeiro de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. George Santos Marinho

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica, na área de termociências.

Natal/RN
Julho 2010

AGRADECIMENTOS

Ao meu Criador, Deus, por conduzir a minha vida.

Ao professor George Marinho, pela sua orientação.

Aos meus pais, José e Maria, meu irmão, Alexandre, e meus familiares, por todo o amor, carinho e incentivo.

Ao meu amor, Junior, pelo apoio, paciência e dedicação.

Aos meus amigos, Guilherme e Sinara, pela valiosa ajuda, força, conselhos e mais sincera amizade.

Aos meus colegas do Laboratório de Transferência de Calor – LTC –, pelos momentos de trabalho e fraternidade, em especial a Michele Paiva, Jacques Cousteau e Dorivalda Neira.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM/UFRN.

À ANP, pelo apoio financeiro.

Aos Professores Paulo Massarani e Marco Nabuco e todos do Laboratório de Ensaio Acústicos – LAENA do INMETRO.

Às equipes do Laboratório GGEMMA, do Departamento de Geologia, Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil e Laboratório de Cimentos.

À empresa PROQUINOR, especialmente ao Eng^o Sabatini.

Oliveira, Maria Cleide Ribeiro (2010). *Compósito de poliuretano de mamona e resíduo industrial para isolamento térmica e absorção sonora*. Natal, 2010. 80p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RESUMO

Neste trabalho tratou-se do desenvolvimento de um material inovador constituído de matriz poliuretânica vegetal e carga de resíduo industrial, proveniente de recauchutagem de pneus, para fins de isolamento térmico e conforto ambiental. Para tanto, são apresentados procedimentos e resultados experimentais obtidos da análise do desempenho térmico e acústico desse material compósito produzido a partir de resina expansiva derivada do óleo da semente de mamona e fibras de pneus inservíveis. O resíduo foi tratado superficialmente com hidróxido de sódio, para a eliminação de impurezas, e caracterizados macroscópica e microscopicamente. Foram produzidos corpos de prova com adição de resíduo nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em massa, para determinação de propriedades térmicas: condutividade, capacidade calorífica e difusividade térmica, do índice de absorção sonora e densidade aparente. Os resultados foram comparados aos isolantes térmicos e absorventes sonoros comerciais. De acordo com a análise dos resultados, concluiu-se que o compósito desenvolvido possui características que o qualificam como um isolante térmico com desempenho superior aos isolantes comerciais e com capacidade de absorção sonora maior que o poliuretano de mamona sem a adição do resíduo.

Palavras-Chave: Isolante térmico; Absorção sonora; Poliuretano de mamona; Resíduo industrial; Compósitos.

Oliveira, Maria Cleide Ribeiro (2010). *Compósito de poliuretano de mamona e resíduo industrial para isolação térmica e absorção sonora*. Natal, 2010. 80p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ABSTRACT

This work proposes the development of an innovative material made from a vegetable polyurethane matrix and load of industrial waste, from retread tires, for thermal insulation and environmental comfort. Experimental procedures are presented, as well as the results of the thermal and acoustic performance of this composite material, made from an expansive foam derived from the castor seed oil and fiber of scrap tires. The residue was treated superficially with sodium hydroxide, to eliminate contaminants, and characterized macroscopically and microscopically. Samples were produced with addition of residues at levels of 5%, 10%, 15% and 20% by weight, for determination of thermal properties: conductivity, heat capacity and thermal diffusivity, sound absorption index and density. The results were compared to commercially available thermal insulation and sound absorbing products. According to the analysis of results, it was concluded that the developed composite presents characteristics that qualify it as a thermal insulation with superior performance, compared to commercial available insulation, and sound absorption capacity greater than the castor oil polyurethane's, without addition of the residue.

Keywords: Thermal insulation; Sound absorption; Polyurethane castor oil, Industrial waste; Composites.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1	
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
1.1 COMPÓSITOS	4
1.2 MATERIAIS POLIMÉRICOS	5
1.2.1 Poliuretanos	6
1.2.2 Elastômeros	9
1.3 POLIURETANO DE MAMONA.....	10
1.3.1 Óleo de mamona.....	10
1.3.2 Resinas expansivas do óleo da semente de mamona	12
1.4 PNEUS	12
1.4.1 Origem e constituição do pneu.....	12
1.4.2 Pneus inservíveis	14
1.5 CONFORTO AMBIENTAL.....	14
1.5.1 Conforto térmico	15
1.5.2 Conforto acústico	16
1.6 ISOLAÇÃO TÉRMICA	17
1.6.1 Propriedades térmicas	17
1.6.1.1 Condutividade térmica.....	18
1.6.1.2 Capacidade calorífica.....	18
1.6.1.3 Difusividade térmica	19
1.6.2 Isolantes térmicos	19
1.7 ABSORÇÃO SONORA.....	20
1.7.1 Métodos para medição do coeficiente sonora	21
1.7.2 Absorventes sonoros	22
Capítulo 2	
2. ESTADO DA TÉCNICA	23
2.1 RECICLAGEM.....	23
2.1.1 Resolução nº 258 do CONAMA.....	23
2.1.2 Reciclagem de pneus inservíveis.....	24
2.2 COMPÓSITOS COM BORRACHA DE PNEUS	24

2.3 COMPÓSITOS COM POLIURETANOS DE MAMONA.....	26
2.4 POLIURETANOS PARA ISOLAÇÃO TÉRMICA DE DUTOS.....	27
2.5 POLIURETANOS PARA CONFORTO AMBIENTAL.....	28
2.6 OUTROS MATERIAIS PARA ISOLAÇÃO TÉRMICA.....	29
Capítulo 3	
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	31
3.1 MATERIAIS	31
3.1.1 Resina expansiva poliuretânica.....	31
3.1.2 Raspas de pneus inservíveis.....	32
3.1.2.1 Morfologia das fibras	33
3.1.2.2 Microscopia ótica.....	33
3.1.2.3 Tratamento superficial com hidróxido de sódio (NaOH).....	33
3.1.3 Preparação do compósito.....	36
3.2 MÉTODOS	38
3.2.1 Propriedades térmicas.....	38
3.2.2 Absorção sonora	39
3.2.3 Densidade aparente	41
Capítulo 4	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RASPAS DE PNEUS INSERVÍVEIS.....	42
4.1.1 Análise macroscópica.....	42
4.1.2 Granulometria.....	43
4.1.3 Microscopia ótica.....	44
4.2 ENSAIO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS	45
4.3 COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA.....	48
4.4 DENSIDADE APARENTE	52
4.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	54
Capítulo 5	
5. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Microfotografias de espumas de PU de (a) células abertas e (b) células fechadas.....	8
Figura 1.2 – Estrutura básica dos elastômeros	9
Figura 1.3 – Estruturas genéricas das borrachas: (a) Natural – poliisopreno; (b) Sintética – borracha de polibutadieno	10
Figura 1.4 – Folhas, frutos e sementes de mamona	11
Figura 1.5 – Corte de pneu radial.....	13
Figura 1.6 – Sistema de propagação do som.....	20
Figura 3.1 – Resina expansiva rígida	31
Figura 3.2 – Raspas ou fibras de pneus proveniente de recauchutagem	32
Figura 3.3 – (a) Partículas retidas na peneira 4,8 mm (b) Material desprezado.....	34
Figura 3.4 – Amostra com 600 gramas de resíduo	34
Figura 3.5 – Microesferas de hidróxido de sódio.....	34
Figura 3.6 – Hidróxido de sódio diluído em água destilada.....	35
Figura 3.7 – Amostra do resíduo imersa na solução de NaOH	35
Figura 3.8 – Resíduo lavado a peneira nº 200	35
Figura 3.9 – Resíduo molhado para secagem.....	36
Figura 3.10 – (a) Agitação do polioli no misturador mecânico (b) Mistura no tempo de creme	37
Figura 3.11 – Corpo de prova.....	37
Figura 3.12 – Analisador de propriedades térmicas Quickline™-30 e corpos de prova em análise	38
Figura 3.13 – Movimento do microfone ao longo do tubo de impedância	40
Figura 3.14 – Tubo de impedância.....	40
Figura 3.15 – Sistema de dados.....	40
Figura 3.16 – Porta-amostra com amostra	40
Figura 3.17 – Amostra para ensaio de absorção.....	41
Figura 4.1 – (a) partículas e fibras; (b) as raspas de pneus inservíveis	42
Figura 4.2 – Curva granulométrica do resíduo	43
Figura 4.3 – Micrografia da fibra de pneu com aumento de 10x: (a) antes do tratamento com NaOH (b) após o tratamento com NaOH.....	44

Figura 4.4 – Micrografia da fibra de pneu após o tratamento com NaOH: (a) Com aumento de 20x (b) com aumento de 5x.....	45
Figura 4.5 – Gráfico de condutividade térmica dos materiais.....	46
Figura 4.6 – Gráfico de capacidade calorífica dos materiais.....	47
Figura 4.7 – Gráfico de difusividade térmica dos materiais.....	48
Figura 4.8 – Gráfico de absorção sonora do PU de mamona, PU de petróleo, lãs de vidro e de rocha.....	49
Figura 4.9 – Gráfico de absorção sonora do PU de mamona e compósitos	50
Figura 4.10 – Gráfico de absorção sonora do compósito com 15% de resíduo, PU de mamona e petróleo	50
Figura 4.11 – Gráfico de absorção sonora do compósito com 15% de resíduo, fibras mineirais, PU de mamona e petróleo	51
Figura 4.12 – Gráfico de absorção sonora dos compósitos, fibras minerais, PU de mamona e petróleo	51
Figura 4.13 – Gráfico de densidades do PU de mamona e dos compósitos com e sem tratamento do resíduo	52
Figura 4.14 – Gráfico de capacidade calorífica do PU de mamona (0%) e dos compósitos nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo sem o tratamento e tratados com NaOH.....	53
Figura 4.15 – Gráfico de difusividade térmica do PU de mamona (0%) e dos compósitos nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo sem o tratamento e tratados com NaOH.....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Composição típica do óleo de mamona	11
Tabela 1.2 – Propriedades térmicas de materiais isolantes	20
Tabela 3.1 – Especificações técnicas da resina expansiva.....	32
Tabela 4.1 – Composição granulométrica do resíduo	43
Tabela 4.2 – Propriedades térmicas médias dos materiais.....	46
Tabela 4.3 – Densidades médias dos materiais.....	52
Tabela 4.4 – Levantamento de preço dos materiais por m ²	54

Introdução

INTRODUÇÃO

O constante processo de transformação vivenciado pela humanidade atualmente inspira o surgimento de novas tecnologias e conhecimentos. Para atender às suas necessidades, a sociedade busca principalmente custos reduzidos e eficiência, embora, cada vez mais a preocupação com o meio ambiente e a qualidade de vida complementem os critérios de definição das escolhas das pessoas.

No âmbito da tecnologia dos materiais, não poderia ser diferente. A cada instante, produtos inovadores são desenvolvidos com o intuito de atender recentes e antigas demandas tanto em relação aos aspectos técnicos quanto aos comerciais, econômicos e ambientais.

A isolamento térmica e a absorção sonora constituem propriedades requeridas em uma série de produtos com aplicações na indústria petrolífera, na construção civil, na refrigeração, na agropecuária, no conforto ambiental, etc.

Os isolantes térmicos e absorventes acústicos disponíveis no mercado atualmente constituem basicamente materiais fibrosos como a lã de vidro e a lã de rocha e os materiais porosos, como os poliestirenos e poliuretanos, comumente chamados de espumas.

Na indústria petrolífera, os isolantes térmicos são fundamentais no transporte de petróleo e derivados, biocombustíveis e gás, mediante dutos que interligam todos os pontos do Brasil. Principalmente quando trafegam em vias submarinas, a transferência de calor entre o interior da tubulação e o meio externo deve ser impedida para que não haja a formação de elementos indesejáveis que acarretem a obstrução dos dutos.

Nas fábricas, usinas e indústrias em geral ou em qualquer espaço onde pessoas estejam expostas a excesso de calor e ruído, o conforto termoacústico constitui um fator imprescindível para a saúde e a qualidade de vida dos usuários desses ambientes. Essa questão motiva a inserção de elementos construtivos ou materiais que promovam melhorias nas condições de habitabilidade e conforto.

Existem pesquisas recentes que apresentam novos materiais isolantes e absorventes termoacústicos como as fibras de coco (Vieira, 2008) e de sisal (Neira,

2005), os compósitos de gesso e celulose (Correia, 2009) e outras fibras vegetais (Lima, 2005).

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um material composto produzido a partir de resina expansiva proveniente do óleo da semente da mamona e resíduo industrial. Esse produto inovador é constituído de raspas de pneus inservíveis, reconhecidos mundialmente como lixo urbano, dispersos em uma matriz poliuretânica de origem vegetal, ou seja, proveniente de fonte renovável e natural.

A opção pelo poliuretano de mamona foi fundamentada, principalmente, na diversidade de aplicações dessa tecnologia verde nas indústrias de refrigeração, petrolífera e da construção civil enquanto isolante térmico amplamente comercializado com vistas à substituição do poliuretano de petróleo.

O material proposto é caracterizado por meio das suas propriedades térmicas (capacidade calorífica, condutividade e difusividade térmica) mediante método empregado pelo analisador de propriedades térmicas Quickline-30 e sonoras (índice de absorção sonora) utilizando o método do tubo de impedância.

O produto foi desenvolvido para apresentar características equivalentes ou similares aos isolantes térmicos e absorventes sonoros convencionais com vistas à sua utilização no isolamento térmico de dutos e conforto de ambientes. Além disso, há um apelo ecológico evidente, por ser constituído de uma matriz vegetal e uma carga proveniente de descarte ou reciclagem de lixo urbano.

Sendo assim, este trabalho está distribuído em introdução, quatro capítulos e conclusões, conforme descrito a seguir:

A introdução faz a apresentação do tema a ser desenvolvido, além dos objetivos e da justificativa do trabalho.

O capítulo 1 apresenta os conceitos e propriedades que norteiam o trabalho através de uma fundamentação teórica.

O capítulo 2 versa sobre a revisão bibliográfica no que diz respeito à reciclagem, compósitos, poliuretanos e isolantes térmicos. São expostos os pneus inservíveis como resíduo industrial, e os poliuretanos, em especial o poliuretano proveniente do óleo da semente da mamona, enquanto elementos constituintes do material composto desenvolvido na presente pesquisa, além da exposição de outros compósitos que utilizem resíduos ou poliuretanos em sua estrutura.

O capítulo 3 descreve a metodologia e a instrumentação empregadas na caracterização dos elementos constituintes do material proposto e a análise das suas propriedades térmicas e acústicas.

No capítulo 4, são expostos e discutidos os resultados obtidos nos experimentos realizados.

E, finalmente, nas conclusões, apresentam-se os comentários finais, as observações e contribuições do trabalho, além de sugestões para pesquisas futuras.

O desenvolvimento desta pesquisa gerou os seguintes trabalhos publicados ou em vias de publicação no meio técnico-científico:

- BORGES, J. C. S., OLIVEIRA, M. C. R, MARINHO, G. S. *Caracterização de compósito de poliuretano de mamona com raspa de madeira por microscopia ótica*. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2008, Porto de Galinhas. Anais Eletrônicos do 18º Cbecimat, UFPE.
- OLIVEIRA, M. C. R, MARINHO, G. S. *Composite of castor oil expansion resin and industrial residue for the insulation of thermal pipelines*. In: 20º International Congress of Mechanical Engineering, 2009, Gramado. Anais Eletrônicos do 20º COBEM, ABCM.
- OLIVEIRA, M. C. R, MELO, G. F. MARINHO, G. S. *Análise do coeficiente de absorção sonora de compósito de poliuretano de mamona e absorventes comerciais*. In: VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande. Anais Eletrônicos do VI CONEM, ABCM.

Capítulo 1

Fundamentação teórica

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são destacados os conceitos teóricos fundamentais para melhor compreensão do escopo desse trabalho.

Inicialmente, é apresentada a conceituação inerente aos compósitos e materiais poliméricos, explorando os elementos constituintes do produto desenvolvido nessa pesquisa.

E, em seguida, são evidenciados os fundamentos e propriedades utilizados na caracterização do novo compósito, além da análise de suas potencialidades.

1.1 COMPÓSITOS

Segundo Berthelot (1999) e Mallick (1997), materiais compósitos são formados da reunião de dois ou mais materiais de naturezas diferentes que juntos resultam em um material de propriedades e desempenho superiores a dos componentes considerados isoladamente.

Os materiais compósitos estão presentes no cotidiano da sociedade com aplicações nas mais diversas áreas da indústria como a automobilística, a marítima, aeronáutica, de materiais elétricos, de construção, dentre outras.

Os compósitos, também chamados de materiais compostos, são constituídos de duas fases: uma fase contínua conhecida como matriz, que circunda a outra fase, denominada reforço ou carga.

Callister (2002) classifica os compósitos de acordo com o tipo de reforço em: compósitos reforçados por partículas, como o concreto; compósitos reforçados por fibras; e os compósitos estruturais como os laminados e painéis-sanduíche.

Mallick (1997) agrupa os materiais compostos de acordo com o material constituinte da matriz. Desse modo, os compósitos podem ser de matriz polimérica, metálica ou cerâmica.

No desenvolvimento do material proposto nesta pesquisa, temos matriz e reforço de origem polimérica, classificados em grupos diferentes, por isso, somente esses elementos são enfatizados a seguir.

1.2 MATERIAIS POLIMÉRICOS

Os polímeros são macromoléculas com alto peso molecular proveniente da repetição de segmentos estruturais ao longo da cadeia, conhecidos como meros. E são classificados em polímeros naturais e sintéticos (LUCAS et al, 2001).

A norma ISO 1382 (1996) define os polímeros como uma substância composta por moléculas caracterizadas pela repetição múltipla de uma ou de várias espécies de átomos ou de grupos de átomos ligados entre si em quantidade suficiente para conferir um conjunto de propriedades que não variam de uma forma marcada por adição ou remoção de uma ou de algumas unidades constitutivas.

Padilha (2000) classificou os materiais poliméricos em três grupos principais:

- Termoplásticos – Material facilmente reciclável, pois pode ser repetidamente conformado mecanicamente mediante aquecimento. Exemplos típicos de termoplásticos são: polietileno, poliestireno, policloreto de vinila e polipropileno;
- Termorrígidos – São conformáveis plasticamente apenas em um estágio intermediário de sua fabricação. Exemplos comuns de termorrígidos são: poliésteres e poliuretanos; e,
- Elastômeros (borrachas) – São materiais conformáveis plasticamente, que apresentam elasticidade acentuada até a temperatura de decomposição, mantendo essas características a baixas temperaturas. Exemplos de elastômeros são: borracha natural e borracha de estireno e butadieno.

Lucas (2001) descreve outras classificações como polímeros naturais ou sintéticos, quanto à ocorrência. O comportamento mecânico agrupa os polímeros em plásticos, fibras e elastômeros. E ainda, quanto às características de fusibilidade, divide os materiais poliméricos em termoplásticos e termorrígidos.

Já Paoli (2009) classifica os polímeros de acordo com a sua forma de processamento em termoplásticos, termofixos, plásticos de engenharia e elastômeros.

Essas e outras classificações enfatizam propriedades comumente identificadas e relevantes ao desenvolvimento e análise de materiais.

Como enfatiza Paoli (2009), os polímeros termofixos são moldados inicialmente na forma de pré-polímero e depois submetidos a um processo de “cura”, quando assumem a sua forma definitiva sem poderem ser moldados novamente por aquecimento.

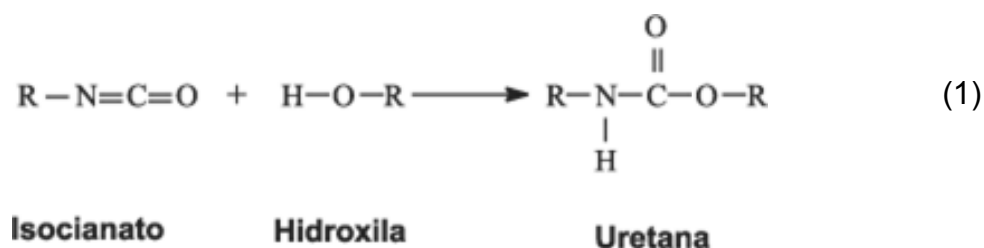
A matriz polimérica, objeto deste trabalho, possui estas e outras características que a qualificam como um termofixo, conhecido como poliuretano.

A carga apresenta características inerentes a um polímero elastomérico, identificado como borracha, um material de alta elasticidade e resistente a grandes deformações sem o seu rompimento (Paoli, 2009).

1.2.1 Poliuretanos (PU's)

Os poliuretanos (PU's) são formados através da reação química entre um polioliol, composto de moléculas hidroxila de baixo peso molecular, e um grupo isocianato, conforme a reação química (1).

Durante a reação, o hidrogênio do polioliol forma uma corrente simples com o nitrogênio do isocianato, enquanto o oxigênio do polioliol forma uma corrente dupla com o carbono (STRONG, 2008). A composição e a dosagem dos elementos de partida (isocianato e polioliol) definem o tempo de reação e as propriedades do material ao final do processo.



Além dessa reação principal, podem ocorrer reações paralelas como a do isocianato com a água e a conseqüente liberação de dióxido de carbono (CO₂), responsável pela expansão do polímero (SILVA, 2003). Outros reagentes como agentes de cura, catalisadores, agentes de expansão, corantes e desmoldantes podem participar da reação em função das propriedades requeridas do produto final (VILAR, 2002).

O polioli e o isocianato geralmente estão na forma líquida, o que facilita a mistura e a dosagem desses elementos na proporção adequada para que ocorra a reação química que produz o uretano ou uretana.

Após a mistura, os componentes isocianato e polioli reagem imediatamente, resultando num aumento contínuo da viscosidade até a gelificação, tendo, portanto, um limitado tempo de processamento (RODRIGUES, 2008).

De acordo com Vilar (2002), é possível obter infinitas variações de produtos pela combinação de matérias-primas como polióis, isocianatos e aditivos, que resultam em materiais com diferentes propriedades físicas e químicas. A versatilidade dos PU's acarreta um consumo mundial cada vez maior, prevista para 16 milhões de toneladas em 2010.

Os poliuretanos são comercializados principalmente sob a forma de espumas flexíveis ou rígidas e elastômeros (SILVA, 2003). Podendo ainda ser encontrado na forma de espumas semi-rígidas e semi-flexíveis, tintas, adesivos e revestimentos.

Os PU's rígidos são comumente utilizados como isolantes térmicos em refrigeração e na construção civil. As espumas flexíveis têm aplicações em tratamento acústico de ambientes, na indústria automotiva e no segmento de colchões e estofados. Os demais produtos são comercializados para inúmeros mercados como a indústria de calçados, tintas, selantes, adesivos, etc.

Conforme relata Vilar (2002), os PU's foram desenvolvidos, em 1937, por Otto Bayer. E ainda, no final da década de 30, a sua comercialização teve início com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas, na Alemanha. Embora o desenvolvimento dos PU's tenha desacelerado durante a Segunda Guerra Mundial, a partir de 1946 a produção tornou-se cada vez mais crescente. Na década de 1950, as espumas flexíveis foram registradas comercialmente. Nos anos 60, as espumas rígidas foram amplamente aplicadas como isolante térmico, utilizando os clorofluorcarbonos (CFCs) como agentes de expansão. Na década de 70, as espumas semiflexíveis e semi-rígidas foram largamente utilizadas na indústria automobilística. A partir da década de 90, surgiram às pesquisas voltadas para substituição dos CFCs, devido aos danos causados à camada de ozônio, e reciclagem dos PU's.

Almeida (2006) destaca o isolamento térmico e acústico, a absorção sonora e a baixa densidade como propriedades técnicas exigidas das espumas poliuretanas.

As propriedades térmicas e acústicas dos poliuretanos estão relacionadas à sua microestrutura. As espumas rígidas possuem uma microestrutura com células fechadas, como na figura 2.1 (b), que confinam o ar em seu interior, enquanto os poliuretanos flexíveis são compostos de células abertas que permitem o fluxo de ar entre seus poros.

Kipper (2008) afirma que as espumas rígidas possuem estrutura rígida altamente reticulada e com células fechadas, responsável pelas suas propriedades mecânicas. E, além disso, a condutividade térmica do gás (ar) retido nestas células fechadas é o fator preponderante nas propriedades isolantes da espuma, visto que o ar é reconhecido como um excelente isolante térmico.

Sendo assim, a tendência é que as espumas rígidas sejam bons isolantes térmicos e os poliuretanos flexíveis sejam bons absorventes sonoros fazendo com que as ondas sonoras sejam absorvidas, ao percorrer as células abertas, como da figura 1.1 (a), convertendo o ruído absorvido em energia térmica.

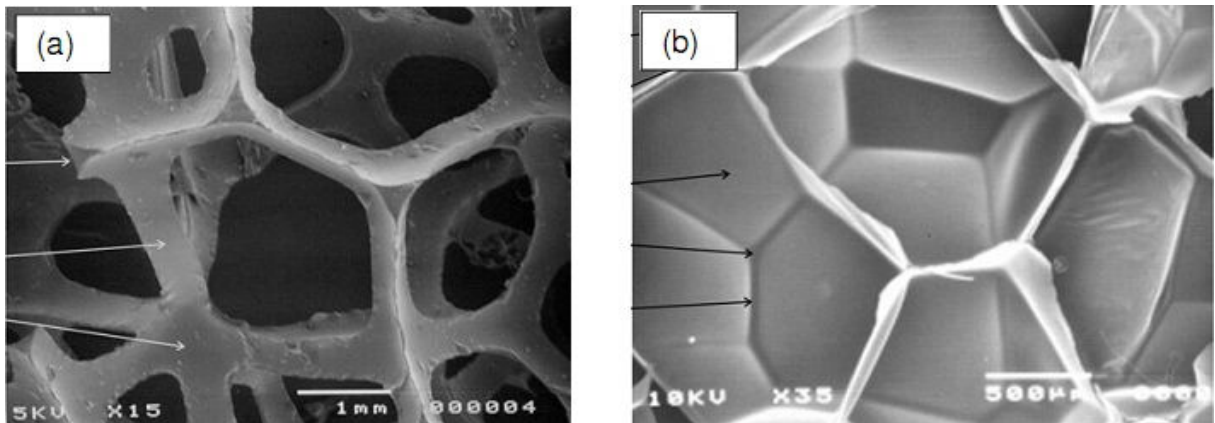


Figura 1.1 – Microfotografias de espumas de PU de (a) células abertas e (b) células fechadas (Veronese, 2009)

Os poliuretanos podem ser provenientes do petróleo e de fontes naturais. Porém, as atuais necessidades ambientais motivam a redução do uso de polímeros sintéticos, de fonte petrolífera, em substituição a polímeros oriundos de fontes naturais e renováveis como os óleos de vegetais. Esses óleos derivam de inúmeros vegetais como canola, milho, linhaça, oliva, girassol, amendoim, soja e mamona, cujas características são destacadas neste trabalho.

1.2.2 Elastômeros

Os elastômeros, também conhecidos como borrachas, possuem em geral estruturas simples, como a apresentada na figura 1.2, onde o elemento \boxed{R} pode ser substituído por H, CH₃ ou Cl (Ashby, 1999).

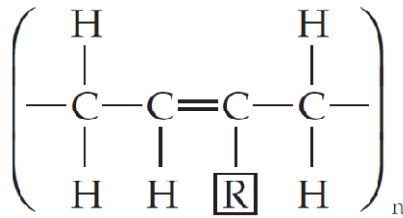


Figura 1.2 – Estrutura básica dos elastômeros (Ashby, 1999)

A norma ISO 1382 (1996) define os elastômeros como um material macromolecular que recupera rapidamente a sua forma e dimensões iniciais, após cessar a aplicação de uma tensão.

Os materiais elastoméricos apresentam tanto características de materiais sólidos como de líquidos, sendo assim considerados materiais viscoelásticos (GUERRA et al, 2004).

Para adquirir a forma e as propriedades necessárias às suas aplicações, os elastômeros precisam ser submetidos a um processo químico de reticulação conhecido como vulcanização.

A vulcanização é o processo por meio do qual a borracha reage com enxofre para produzir uma rede de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas. Se um número suficiente de ligações cruzadas é formado, o artefato adquire uma forma fixa, não mais moldável, porém ainda flexível e elástica. Se, no entanto, muitas ligações cruzadas são formadas, o elastômero é convertido em um sólido rígido (COSTA et al, 2003).

Esse processo foi descoberto casualmente por Charles Goodyear, em 1839, ao deixar cair enxofre em uma amostra de borracha que estava sendo aquecida (Goodyear, 2009).

As estruturas químicas apresentadas a seguir (Figura 1.3) são exemplos de polímeros elastoméricos:

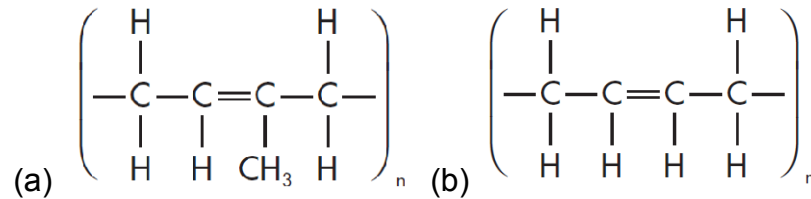


Figura 1.3 – Estruturas genéricas das borrachas: (a) Natural – poliisopreno; (b) Sintética - borracha de polibutadieno (Ashby, 1999)

1.3 POLIURETANO DE MAMONA

Silva (2003) destaca o poliuretano de mamona entre os chamados “biomonômeros”, resina poliuretânica obtida a partir de fontes naturais, e ainda apresenta a origem do desenvolvimento dos poliuretanos derivados de óleo da semente de mamona na década de 40.

A seguir, as características desse óleo vegetal são evidenciadas para melhor compreensão das propriedades da resina expansiva que produz o poliuretano de mamona.

1.3.1 Óleo de mamona

A mamona, conhecida botanicamente pelo nome científico *Ricinus communis*, é uma planta tipo arbusto, comum em regiões com clima tropical e subtropical, que se propaga por meio de sementes das quais é extraída, através de prensagem, o óleo de rícino ou de mamona. O componente principal desse óleo é o ácido graxo ricinoléico que possui inúmeras aplicações na agricultura, na biomedicina e na indústria automotiva, têxtil, estética, dentre outras (OLIVEIRA, 2009; RODRIGUES, 2008).



Figura 1.4 - Folhas, frutos e sementes de mamona
Fonte: Rodrigues (2008)

Tabela 1.1: Composição Típica do Óleo de Mamona

Ácido	Proporção
Ácido ricinoleico	89,5 %
Ácido linoléico	4,2 %
Ácido oléico	3,0 %
Ácido esteárico	1,0 %
Ácido palmítico	1,0 %
Ácido dihidroxiesteárico	0,7 %
Ácido eicosanóico	0,3 %
Ácido linoléico	0,3 %

Fonte: Proquinor, 2007.

Na tabela 1.1, pode-se verificar que em torno de 90 % de ácido graxo presente na composição do óleo de mamona é ácido ricinoléico. Os outros 10% são ácidos graxos hidroxilados, como os ácidos oléicos e linoléicos. E assim, como ressalta Silvestre Filho (2001), o óleo de mamona é uma das poucas fontes naturais que se aproxima de um composto puro.

O óleo de mamona possui aplicações em diversos segmentos da sociedade, mas principalmente na indústria. Dentre essas, é possível citar: fabricação de tintas e isolantes, cosméticos e produtos farmacêuticos, corantes, lubrificantes, vernizes, telecomunicações e biomedicina. Destacam-se também a indústria da construção civil, mineração, automobilística e metalúrgica em geral (RODRIGUES, 2005).

1.3.2 Resinas expansivas do óleo da semente de mamona

Entre a variedade de materiais que podem ser obtidos a partir dos óleos vegetais, incluem-se os poliuretanos, que atualmente ocupam 5% do mercado de polímeros sendo o sexto polímero mais consumido no mundo (VERONESE, 2009).

A produção de Poliuretanos a base de óleos naturais constituem uma tendência global de mercado (VILAR, 2002), principalmente em função da possível substituição de um PU proveniente da indústria petroquímica, recurso esgotável, por uma resina poliuretânica, com matéria prima de origem vegetal, considerada de fonte renovável e natural, para utilização em isolamento térmico e outras aplicações.

O poliuretano derivado do óleo da semente de mamona está inserido nessa realidade visto que encontra aplicações em vários segmentos do mercado como refrigeração, construção civil e indústria em geral.

As resinas expansivas do óleo da semente de mamona são comercializadas na forma de espumas rígidas ou flexíveis e elastômeros.

Neste trabalho, é utilizada uma resina expansiva de poliuretano rígida, apresentada no capítulo 3.

1.4 PNEUS

Os pneus inservíveis estão inseridos entre os resíduos urbanos gerados atualmente em larga escala e sua destinação final ainda representa um sério problema ambiental.

Para melhor compreensão dessa realidade e da alternativa de reaproveitamento proposta nesta pesquisa, é fundamental o conhecimento da constituição dos pneus e ainda as modalidades de descarte e/ou destinação praticadas.

1.4.1 Origem e constituição do pneu

Segundo Campos (2006), a invenção do pneu remonta a 1845 e foi patenteada por Robert Whilliam Thomson. Esse primeiro pneu, inventado por

Thomson, era só uma “câmara-de-ar” que ele batizou de “Aerial Wheel”, consistia num tubo de borracha envolvido por uma capa de couro. Essa capa de couro é que terá sido o precursor do pneu.

A palavra “pneu” deriva de pneumático. Desde sua invenção, o pneu foi aprimorado várias vezes, sendo aplicado às bicicletas em 1888, por John Boyd Dunlop. Em 1946, Michellin patenteou o pneu radial, dando início ao problema de destinação e reciclagem (CAMPOS, 2006).

Na figura 1.5 é possível verificar detalhes dos elementos constituintes da estrutura de um pneu utilizado em veículos nos dias atuais:

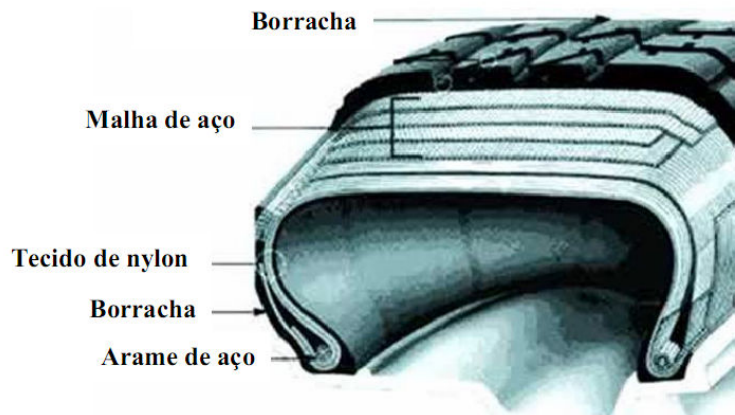


Figura 1.5 - Corte de pneu (Pinheiro, 2004)

Nessa estrutura, é perceptível que há concentração de borracha na banda de rodagem, parte do pneu que fica em contato direto com a pista de rolamento, e nas partes laterais nomeadas de flancos.

A componente borracha representa mais de 40% do peso total do pneu. O elastômero utilizado na confecção do pneu pode ser natural, sintético ou uma mistura dos dois tipos. A borracha natural (NR) fornece as propriedades elásticas, enquanto que a sintética, como a de estireno-butadieno (SBR), proporciona a estabilidade térmica do pneumático (FREITAS, 2007).

1.4.2 Pneus inservíveis

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) define como pneu inservível aquele que não mais se presta a processo que permita condição de rodagem adicional (CONAMA, 1999).

Santos (2005) considera o pneu um dos produtos mais consumidos no mundo e um dos resíduos de mais difícil decomposição na natureza. Por isso, a preocupação com o descarte e, principalmente, com a destinação representa um sério problema ambiental existente desde a invenção do pneu radial e a sua inserção na indústria automotiva. Contudo, tornou-se mais alarmante nas últimas décadas, diante da enorme quantidade de resíduos gerados diariamente.

Os pneus inservíveis constituem resíduos sólidos que, quando abandonados em locais inadequados, contribuem com a proliferação de mosquitos e outros vetores de doenças, além de representar risco constante de incêndio, que contamina o ar com fumaça tóxica e ainda geram óleos que infiltram e contaminam o lençol freático (ODA, 2001).

No Brasil, a produção em 2003 foi de 45 milhões de unidades de pneus e foram descartados 26 milhões, sendo que apenas 45% deste material foram reciclados. Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, estima-se que no Brasil 10 milhões de pneus velhos estão espalhados em aterros, terrenos baldios, rios e lagos (BARBOSA, 2006; ANIP, 2000).

Somente em Natal/RN, onde a presente pesquisa foi desenvolvida, perto de 20.450 mil pneus são descartados mensalmente (Lopes et al, 2002). Esses números retratam o panorama dos impactos ocasionados pelo descarte ou a queima de pneus inservíveis.

1.5 CONFORTO AMBIENTAL

A sensação de conforto, tão importante à saúde e ao bem estar dos indivíduos, é alcançada quando os usuários de um ambiente ficam satisfeitos com as condições de temperatura e umidade, associadas ao movimento das massas de ar e radiação térmica, que os rodeia, além das condições de iluminação e acústica dos

espaços. A necessidade de conforto ambiental representa uma constante para a sociedade em todos os seus aspectos. Assim, o conforto térmico, lumínico e o conforto acústico definem o nível e as condições de conforto do ambiente construído.

Freitas (2005) comenta que o conforto está relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, bem como a condições físicas de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica.

Ilda (1995) ressaltou que as condições ambientais desfavoráveis, como excesso de calor ou de frio, ruídos e vibrações causam desconforto, aumentam o risco de acidentes e podem provocar danos consideráveis à saúde.

Este trabalho dá ênfase ao conforto térmico e acústico, conforme será apresentado a seguir.

1.5.1 Conforto térmico

As condições térmicas ocasionadas por sensações de frio ou calor estão inseridas entre os elementos que proporcionam conforto ambiental na forma de conforto térmico.

Segundo a ASHRAE (1992), conforto térmico é “um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

Para Lamberts (2007), o conforto térmico é definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda.

Esse estado de satisfação mencionado por ASHRAE e Lamberts envolve uma série de variáveis relacionadas às exigências, características, costumes humanos e índices climáticos. Dessa forma, a sensação térmica está associada ao organismo humano e ao seu metabolismo, bem como às suas reações ao frio e ao calor. A própria pele, principal órgão termorregulador do organismo humano, juntamente com as vestimentas e as variações climáticas, são responsáveis pelas trocas térmicas que contribuem com a sensação de conforto térmico.

Os ambientes termicamente confortáveis são definidos principalmente pelas características da sua envoltória, constituída de paredes, piso e cobertura. Os materiais constituintes e a sua disposição ao longo da envoltória, além da projeção das aberturas, são responsáveis pela percepção da radiação solar incidente nas edificações.

Borges (2009) constatou que a isolamento térmica de coberturas e estruturas são elementos essenciais para o conforto térmico no interior das habitações, sendo a coberta o principal alvo da incidência da radiação solar.

1.5.2 Conforto acústico

Seja em edificações para fins residenciais, comerciais ou industriais ou ainda em salas de concerto e estúdios, a necessidade de edificar ambientes confortáveis determina procedimentos arquitetônicos e construtivos e, ainda, a inserção de materiais absorventes sonoros à estrutura física das construções.

O conforto acústico de um ambiente envolve os conceitos de isolamento e tratamento acústico.

O isolamento acústico constitui o confinamento de um ambiente através de barreiras, os isolantes acústicos, que impeçam ou, pelo menos, dificultem a passagem dos ruídos de um recinto para outro. Os isolantes acústicos são geralmente materiais densos como o concreto, o aço ou o vidro.

O tratamento, também chamado de condicionamento acústico, consiste na redução ou eliminação dos níveis de reverberação, garantindo um bom nível de inteligibilidade das palavras, em um ambiente, por meio da absorção sonora. Geralmente, os absorventes sonoros são materiais leves (baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos como os carpetes, fibras e poliuretanos.

Segundo Guedes (2006), em plataformas de produção de petróleo, vários equipamentos mecânicos em um mesmo espaço, cada vez mais confinado e restrito, combinados com a presença humana, ocupando a mesma área, torna este ambiente crítico com relação aos aspectos relacionados ao ruído.

Gonçalves et al (2008) destacam o conforto acústico como um dos aspectos principais para garantia da qualidade de vida das pessoas em seus ambientes de trabalho, evidenciando o controle de ruído como medida de prevenção de doenças ocupacionais como perdas progressivas de audição.

Souza et al (2001) verificaram que operários de plataformas de petróleo expostos a ruídos ocupacionais tendem a desenvolver quadros de hipertensão arterial.

Apesar de desejável, nem sempre é possível reunir, em um mesmo material, propriedades que satisfaçam aos critérios de conforto térmico e acústico.

A seguir, é apresentada a isolamento térmica e a absorção sonora enquanto propriedades fundamentais aos parâmetros de conforto ambiental destacados neste trabalho.

1.6 ISOLAÇÃO TÉRMICA

As trocas de calor podem definir o nível de conforto térmico de um ambiente devido às variações de temperaturas identificadas em pessoas e suas vestimentas, objetos, móveis e, principalmente, nos materiais que compõem a estrutura desse ambiente.

Essas trocas térmicas podem ocorrer através dos mecanismos de condução, convecção e radiação (FROTA & SCHIFFER, 2001).

Callister (2002) define condução térmica como o fenômeno pelo qual o calor é transportado a partir de regiões de alta temperatura para regiões de baixa temperatura de uma substância.

A troca de calor por condução é responsável pela chegada e saída de calor nos ambientes devido às trocas de calor decorrentes do contato entre superfícies. Assim, os materiais que compõem as superfícies como paredes, piso e cobertura são imprescindíveis para a garantia de um ambiente confortável do ponto de vista térmico.

Na transmissão de calor por condução pode-se destacar a condutividade térmica (k), a capacidade calorífica (C) e a difusividade térmica (α) enquanto propriedades térmicas.

1.6.1 Propriedades térmicas

Callister (2002) define propriedade térmica como a resposta de um material a aplicação de calor.

Nesta pesquisa, as propriedades térmicas constituem os parâmetros principais empregados na análise de materiais com características que os qualifiquem como isolantes térmicos.

1.6.1.1 Condutividade térmica (k)

A condutividade térmica é considerada a propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução e expressa a quantidade de calor transmitida através de um corpo homogêneo, por unidade de tempo, espessura, área e gradiente de temperatura (W/m.K) (TINOCO, 2001).

Essa propriedade é melhor definida na Lei de Fourier-biot, pela expressão 1.1:

$$q_k = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$

Onde:

q_k = taxa de transferência de calor (W)

k = condutividade térmica (W/m.K)

A = Área da seção transversal, normal à direção do fluxo de calor (m²)

dT/dx = gradiente de temperatura na seção (K/m)

Os polímeros amplamente utilizados como isolantes térmicos, como, por exemplo, o poliestireno expandido e os poliuretanos, possuem condutividade térmica na ordem de 0,3 W/m.K (CALLISTER, 2002).

1.6.1.2 Capacidade calorífica (C)

Callister (2002) diz que a capacidade calorífica (C) é uma propriedade que é indicativa da capacidade de um material para absorver calor a partir das circunvizinhanças externas; ela representa a quantidade de energia requerida para produzir uma elevação unitária de temperatura.

Como demonstrou Neira (2005), em termos matemáticos, a capacidade calorífica (C) é definida como o produto da massa (m) pelo calor específico (c_p). Porém, há a possibilidade de se compreender a massa (m) como o produto da massa específica (ρ) pelo volume (V) do material e assim obter a capacidade

calorífica (C) em função do volume, em J/m³.K, conforme será medido nessa pesquisa, e demonstrado na equação 1.2:

$$C = m.c_p \rightarrow m = \rho.V \rightarrow \mathbf{C = \rho.V.c_p} \quad (1.2)$$

1.6.1.3 Difusividade térmica (α)

A difusividade térmica (α) é a propriedade que determina a relação entre a capacidade que o material tem de conduzir e sua capacidade de armazenar energia. Sendo assim, quanto maior for a difusividade, mais rapidamente os materiais respondem às variações do ambiente térmico, ou seja, uma alta difusividade implica em um aquecimento mais rápido. A difusividade térmica é definida pela expressão 1.3 (NEIRA, 2005 e BORGES, 2009):

$$\alpha = \frac{k}{c_p \cdot \rho} \quad (1.3)$$

1.6.2 Isolantes Térmicos

Os isolantes térmicos são materiais utilizados para reduzir ou eliminar as trocas de calor indesejáveis no interior de um ambiente, mantendo a temperatura constante. Para tanto, o material isolante deve ter a mais baixa condutividade térmica possível.

Em geral, os materiais porosos são excelentes isolantes térmicos devido à baixa condutividade térmica do ar contido nos vazios.

Sendo o poliestireno expandido um material plástico na forma de espuma com micro-células fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios contendo ar, é considerado um excelente isolante térmico com aplicações na construção civil e em câmaras frigoríficas.

O maior consumo de espumas rígidas de poliuretano é em isolamento térmico. Essas espumas com baixa densidade e condutividade térmica são amplamente utilizadas como isolante térmico em frigoríficos, refrigeradores, painéis divisórios, coberturas, oleodutos e tubulações (VILAR, 2002).

Na tabela 1.2 são apresentadas as propriedades de alguns materiais isolantes utilizados atualmente:

Tabela 1.2: Propriedades térmicas de materiais isolantes

MATERIAL	DENSIDADE (kg/m ³)	CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 24°C (W/m.K)	ESPESSURA NECESSÁRIA (mm)
Espuma rígida de PU	32	0,017	20
Poliestireno expandido	16	0,035	44
Lã-de-vidro	65-160	0,037	49
Lã-de-rocha	100-300	0,046	46-51
Cortiça	220	0,049	61
Madeira (pinho branco)	350-500	0,112	>140

Fonte: Vilar, 2002.

1.7 ABSORÇÃO SONORA

Halliday (1996) afirma que o som se propaga uniformemente em todas as direções, diminuindo sua amplitude à medida que se afasta da fonte sonora em condições de campo livre. Ao encontrar um obstáculo, parte do som é refletida, outra parte do som é absorvida pelo obstáculo e outra parte do som será transmitida pelo obstáculo. As quantidades de som refletidas, absorvidas e transmitidas dependem do comprimento de onda e da amplitude do som e das propriedades do material que compõem o obstáculo.

A figura 1.6 representa estas quantidades do som ao se deparar com um obstáculo.

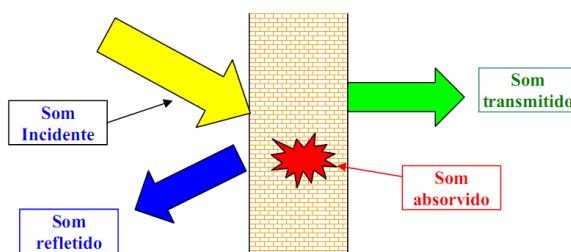


Figura 1.6 - Sistema de propagação do som

Assim, podemos definir o coeficiente de absorção sonora (α) na equação 1.4:

$$\alpha_a = \frac{\text{energia acústica absorvida}}{\text{energia acústica incidente}} \quad (1.4)$$

O valor do coeficiente de absorção sonora é sempre positivo e varia entre 0 e 1.

1.7.1 Métodos para medição do coeficiente de absorção sonora

Para medição do coeficiente de absorção sonora, destacam-se basicamente três métodos experimentais:

➤ Câmaras reverberantes

Conforme descreve Oliveira (2005), este ensaio é realizado em um ambiente fechado, especial de laboratório, chamado câmara reverberante, onde as amostras são submetidas a um campo sonoro difuso, ou seja, ondas sonoras incidentes em todas as direções. As curvas de absorção são determinadas indiretamente por medidas de tempos de reverberação.

O procedimento e a instrumentação experimental são descritas na norma internacional ISO 354:1985.

➤ Método *in situ*

Também conhecido como método da reflexão, foi modernizado com a evolução dos sistemas eletrônicos, permitindo medições em campo. As amostras são submetidas à incidência de ondas em campo livre a um determinado ângulo desejado. Recentemente, foi publicada a norma ISO 13472-1, que descreve a aplicação do método *in situ* para medição de absorção de superfícies de rodagem rodoviárias (OLIVEIRA, 2005).

➤ Tubo de impedância

Os procedimentos deste ensaio são descritos nas normas ISO 10534-1 e ISO 10534-2. Os resultados de absorção são obtidos pela incidência normal de ondas

planas em direção perpendicular às amostras. Para estabelecer o coeficiente de absorção sonora (α) de um dado material, o tubo deve ser usado em conjunto com um gerador de sinais, um filtro e um medidor de nível (OLIVEIRA, 2005).

Dentre essas três alternativas, o método do tubo de impedância foi considerado o ensaio mais adequado para este trabalho, principalmente por requerer uma pequena amostra de material para a realização do experimento, permitindo assim a realização do teste em uma maior variedade de corpos de prova.

1.7.2 Absorventes sonoros

Os absorventes sonoros atuam no âmbito do condicionamento acústico minimizando as inúmeras reflexões do som em um ambiente e combatendo o fenômeno da reverberação. Esses materiais absorventes possuem estrutura porosa ou fibrosa.

As fibras de vidro e de rocha constituem materiais de estrutura fibrosa, bastante difundidos no mercado. Os poliuretanos são exemplos de materiais porosos.

O aspecto mais importante nos materiais absorventes é que a sua estrutura, seja porosa ou fibrosa, permita a passagem de fluxo de ar para que as ondas sonoras penetrem nos poros ou nos interstícios das fibras, dissipando a energia acústica em energia térmica.

Vieira (2008) analisou o coeficiente de absorção sonora (α) de fibras de coco em comparação aos absorventes comerciais e verificou um desempenho satisfatório dos painéis de fibra de coco, principalmente nas baixas frequências

Capítulo 2

Estado da técnica

2. ESTADO DA TÉCNICA

Neste capítulo são apresentados dados referentes à problemática, à legislação e às aplicações da reciclagem. Também são evidenciadas pesquisas existentes atualmente sobre compósitos com borracha de pneus, poliuretanos e isolantes térmicos alternativos.

2.1 RECICLAGEM

Reciclagem é o conjunto de atividades que torna possível o reaproveitamento ou utilização dos resíduos sólidos que são considerados lixo (FREITAS, 2007).

As políticas de Ambiente falam correntemente na “política dos 3Rs: Redução, Reutilização e Reciclagem”. A redução poderia ser conseguida diminuindo o consumo de pneus ou buscando meios de fazer com que eles durem mais tempo. A reutilização pode ser conseguida mediante os processos de recauchutagem, recapagem ou remoldagem. Para a reciclagem, existem formas que utilizam os pneus inteiros ou moídos (CAMPOS, 2006).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) regulamenta estas políticas de ambiente, como é possível verificar na resolução que será apresentada no próximo ítem, onde foi proibida a deposição de pneus em aterros sanitários no Brasil.

2.1.1 Resolução nº 258/99 do CONAMA

O descarte de pneus inservíveis constitui um problema ambiental preocupante que incomoda a sociedade moderna há anos. A preocupação com o meio ambiente motivou o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) a regulamentar, mediante a Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, a destinação de pneus inservíveis, atribuindo essa responsabilidade às empresas que comercializam pneumáticos. Dentre outras questões, o CONAMA definiu que a partir de 1º de janeiro de 2005, para cada quatro pneus novos fabricados no país ou pneus novos

importados, as empresas fabricantes e as importadoras deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis. E, para cada três pneus reformados importados, as empresas importadoras deverão dar destinação final a quatro pneus inservíveis (CONAMA, 1999; OLIVEIRA, 2009).

2.1.2 Reciclagem de Pneus inservíveis

Freitas (2007) afirma que, depois de usada, a borracha do pneu não pode voltar à produção de um novo pneu. No entanto, existem processos que substituem os componentes mais comprometidos do pneu usado e permitem o aumento de sua vida útil.

Os pneus inservíveis podem ainda ter outras alternativas de aplicações, como as apresentadas a seguir:

- Recifes artificiais – Os pneus são empilhados, submersos e ancorados em áreas costeiras, auxiliando na criação e reprodução de animais marinhos;
- Quebra-mares – Os pneus protegem os portos e marinas dos efeitos das marés;
- Equipamentos para playgrounds e esportes – Podem ser utilizados como obstáculos ou amortecedores de acidentes;
- Contenção de erosão do solo;
- Galerias de águas pluviais – Os pneus descartados são utilizados em substituição as manilhas de cimento.

2.2 COMPÓSITOS COM BORRACHA DE PNEUS

Inúmeras pesquisas vêm sendo realizadas motivando o surgimento de aplicações alternativas para os pneus inservíveis, principalmente na forma de raspas ou fibras. A seguir, serão apresentados alguns desses trabalhos:

Rosa et al (2007), Santos (2005) e Marques et al (2006) experimentaram compósitos de concreto e resíduos de pneus, proveniente de recauchutagem, em

diferentes granulometrias e proporções, verificando redução na resistência e trabalhabilidade do material, para aplicação em blocos de alvenaria de vedação e pavimentação que requerem resistência à compressão em torno de 2,5 Mpa.

Oda (2001) propôs a incorporação de borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação verificando que aumentaram a resistência ao acúmulo de deformação permanente e ao aparecimento de trincas por fadiga do revestimento.

Pinheiro (2004) analisou mecanicamente misturas asfálticas com incorporação de borracha de pneus. Os resultados mostraram que as misturas com borracha possuem valores menores de resistência à tração e ao módulo de resiliência e maior vida de fadiga para baixos níveis de tensão, quando comparados a misturas convencionais.

Astrana Junior (2006) verificou o uso de borracha de pneus em concretos asfálticos drenantes desenvolvidos na Europa e ainda pavimentos com superfícies emborrachadas com percentuais de borracha granular moída de pneus adicionada à mistura para fins de redução dos ruídos gerados pelo fluxo de veículos.

Freitas (2007) analisou o desempenho do concreto com adição de borracha vulcanizada como material de reparo para recuperação de superfícies hidráulicas desgastadas em obras como barragens. Os resultados foram comparados ao do concreto de referência (sem borracha) e qualificaram o compósito como um bom material de reparo quanto à aderência e a abrasão. A erosão causada no CAB 15 (concreto com 15% de borracha vulcanizada) por abrasão foi, em média, de 3,68 mm, enquanto o CR (concreto de referência) apresentou desgaste por erosão, em média, de 8,30 mm.

Meneguini (2003) determinou as propriedades mecânicas de uma argamassa de cimento e areia com adição de borracha moída de pneus usados, tratada com solução de hidróxido de sódio comercial. Nos resultados, a argamassa apresentou boa trabalhabilidade e aumento de 45,78% da resistência de desgaste à abrasão com a adição do pó de borracha.

Barbosa (2006) desenvolveu um concreto de alto desempenho com incorporação de cinza de casca de arroz, através da substituição em massa de parte do material aglomerante e borracha de pneu em substituição parcial do agregado miúdo em volume. Os resultados mostraram que os concretos com incorporação de

cinzas e borracha apresentaram boa resistência à abrasão e ao impacto, em relação ao concreto sem resíduo.

Rodrigues (2008) desenvolveu um produto utilizando borracha de pneus inservíveis, picados por processo mecânico, em diferentes tamanhos, aglomerado com resina poliuretânica derivada do óleo da mamona e verificou que esse compósito tem um grande potencial de utilização em diferentes setores da construção civil.

Macedo (2005) analisou o comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas de concreto com diferentes teores de borracha em substituição à parte do agregado miúdo em volume. O desempenho acústico foi avaliado mediante o método da câmara reverberante que mostrou um acréscimo do índice de redução sonora com o aumento do teor de borracha, sendo que a amostra de concreto sem borracha, utilizada como referência, obteve os maiores índices. As placas foram levadas a forno horizontal, resistindo bem à exposição ao fogo.

2.3 COMPÓSITOS COM POLIURETANOS DE MAMONA

Os poliuretanos derivados do óleo da semente da mamona vêm cada vez ocupando mais espaço entre as pesquisas de materiais compostos inovadores, com ênfase à utilização de fibras vegetais como reforço, como é possível de se verificar nos trabalhos destacados a seguir:

Araújo et al (2002) estudaram as propriedades térmicas de compósitos com elastômeros de poliuretano comercial e derivado de óleo de mamona, reforçados com fibras de curauá e constataram que o compósito com PU derivado de óleo de mamona possui melhor estabilidade térmica.

Mothé (2004) também preparou compósitos utilizando fibras de curauá. Foram preparados compósitos de poliuretano comercial e fibras de curauá e compósitos de poliuretano de mamona e fibras de curauá, na proporção de 5%, 10% e 20% de fibra. As amostras foram caracterizadas por técnicas de análise térmica (TG, DTG, DTA e DSC) e propriedades mecânicas (resistência à tração, deformação na ruptura e módulo de Young). A análise térmica demonstrou que a estabilidade térmica das amostras de PU de óleo de mamona e compósito com 20% de curauá

foi menor que a apresentada pelo PU comercial e seus compósitos e a incorporação de fibras provocou um aumento no módulo de Young e uma diminuição na deformação na ruptura. Mothé (2004) também produziu um capacete para ciclista de PU de óleo de mamona e fibras de curauá.

Silva (2003) produziu e caracterizou compósitos formados por resina poliuretano derivada do óleo de mamona e fibras de sisal e coco utilizando as fibras em diferentes formas e sob efeito de tratamento com hidróxido de sódio. Foram realizados ensaios de tração, flexão, tenacidade à fratura, absorção d'água e análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA). Os resultados mostraram que o desempenho dos compósitos com fibras de coco foi inferior aos compósitos com fibras de sisal, e mesmo ao poliuretano sem reforço.

Silvestre Filho (2001) estudou o comportamento mecânico de um compósito formado por poliuretano derivado do óleo de mamona reforçado por fibras de carbono verificando, após os ensaios mecânicos, os resultados satisfatórios que confirmam a viabilidade de aplicação deste material na fabricação de hastes de implante de quadril.

2.4 POLIURETANOS PARA FINS DE ISOLAÇÃO TÉRMICA DE DUTOS

Em dutos metálicos, utilizados para o transporte de gás, petróleo e seus derivados, identifica-se a necessidade de isolamento térmico do tubo em virtude da considerável diferença de temperatura entre o fluido no interior da tubulação e o meio externo ao duto. Nessas tubulações emprega-se o sistema conhecido como pipe-in-pipe (PIP) que consiste, basicamente, em dois tubos de aço concêntricos com um espaçamento anular entre eles, podendo estar contido nesse espaçamento uma espuma polimérica, gás inerte ou vácuo (OLIVEIRA e MARINHO, 2009).

O controle térmico de dutos tipo PIP com isolamento térmico é feito preenchendo-se a camada anular com material de boas propriedades térmicas. Os materiais tipicamente utilizados são a espuma de poliuretano (PUF, Polyurethane Foam) e de polipropileno de baixa densidade, os quais apresentam coeficientes de condutividade térmica próxima do ar, em torno de 0,025W/m.K (CASTELLO, 2005).

A norma N-556/2000 da CONTEC/PETROBRÁS orienta os procedimentos e materiais necessários ao isolamento térmico de dutos com espuma de poliuretano expandido protegida por polietileno, apresentando este material como a melhor alternativa disponível e indicada para essa demanda.

Portanto, podemos considerar que os poliuretanos constituem opções satisfatórias para o preenchimento dos espaços anulares em sistema pipe-in-pipe ou dutos sanduíche.

Abe (2008) desenvolveu um poliuretano elastomérico de alta densidade microcelular não expandido, para utilização em capas externas protetoras, e espuma rígida de poliuretano para uso em reparos de campo, trechos curvos e juntas de tubulações termicamente isoladas. Os resultados mostraram que o PU elastomérico desenvolvido tem plena condições de substituir o polietileno de alta densidade utilizado na proteção externa de dutos, sendo superior em todos os ensaios, exceto no teste de abrasão.

2.5 POLIURETANOS PARA FINS DE CONFORTO AMBIENTAL

No âmbito do isolamento térmico de ambientes, podemos destacar a utilização das espumas de PU inseridas nos procedimentos construtivos atuando em conjunto com outros materiais e em pontos críticos de uma edificação, como o caso das coberturas que recebem maior quantidade de calor em relação ao restante da estrutura.

Veronese (2009) ressalta esse caso destacando as telhas isotérmicas com miolo de poliuretano. Outras aplicações para os poliuretanos associam propriedades térmicas com acústicas, segundo Veronese (2009), as paredes duplas com recheio estrutural em espuma de poliuretano, confecção de cenários e isolamento acústico.

Cruz (2009) desenvolveu um material inovador para fins de isolamento térmica composto de matriz de poliuretano derivado do óleo da semente da mamona reforçado com resíduo plástico termofixo, proveniente da indústria de botões. Foram realizados testes para análise do desempenho térmico e definição de propriedades térmicas que mostraram a eficácia do composto enquanto isolante térmico.

Borges (2009) experimentou um novo compósito a partir de uma matriz vegetal de poliuretano derivado do óleo da mamona e carga do argilo-mineral, denominado vermiculita expandida, quanto ao desempenho e propriedades térmicas. Os resultados mostraram que o novo material apresenta características muito próximas dos isolantes térmicos comerciais.

2.6 ISOLANTES TÉRMICOS ALTERNATIVOS

Por fim, serão apresentadas as pesquisas desenvolvidas atualmente no campo dos isolantes térmicos alternativos, principalmente utilizando materiais naturais ou reciclando resíduos:

Oliveira et al (2003) analisaram a viabilidade técnica do aproveitamento da fibra da casca do coco para a fabricação de manta alternativa utilizada como isolante térmico de coberturas. Os resultados obtidos em câmaras de teste instrumentalizadas com termômetro, termopares e sistema de aquisição de dados e determinação da condutividade térmica da manta ($k_{manta} = 0,041 \text{ W/m.K}$) demonstraram que as mantas de fibras de casca de coco in natura adéqua-se ao uso como isolante térmico de coberturas.

Filho e Brito (2005) determinaram a condutividade térmica e a absorção acústica de blocos de concreto com substituição do agregado miúdo mineral pelo pó de serra, resíduo da indústria madeireira. Os resultados mostraram que as amostras com 50% de pó de serra podem ser utilizadas como blocos para vedação com melhor capacidade de isolamento térmica.

Tessari (2006) investigou o potencial de utilização de resíduos de poliestireno expandido (EPS) na produção de concreto leve, coberturas, forros, piso e coberturas para fins de isolamento térmico verificando que, devido às já reconhecidas propriedades do EPS como isolante térmico, estes resíduos podem ser aplicados na composição de novos materiais de construção.

Neira (2005) analisou experimentalmente a aplicabilidade de mantas de fibra de sisal, in natura e com tratamento superficial com NaOH, à isolamento térmica. Os resultados obtidos com a medição das propriedades térmicas indicaram que as

mantas de sisal podem ser empregadas como material constituinte de sistemas de isolamento térmica.

Correia (2009) produziu um novo compósito constituído de fibra de celulose misturada ao gesso em pó. Os valores obtidos demonstraram que é possível a implantação desse novo material no mercado com resultados bastante satisfatórios observando a influência do teor de fibras de celulose reduzindo a densidade e a condutividade térmica.

Lima (2005) também desenvolveu material inovador utilizando argamassa de gesso e fibra vegetal, para uso na construção civil como revestimento ou elemento de vedação, agregando a este, propriedades que conduzam a baixa condutividade térmica. As amostras do compósito foram submetidas ao teste do fio quente paralelo que indicou o melhor desempenho nas misturas de titulações de 0 a 35% de fibra vegetal.

Kruger (2005) avaliou o desempenho térmico de embalagens cartonadas longa vida, Tetra Pak, como isolante térmico para coberturas tipo ondulada de cimento amianto.

Kipper et al (2008) verificou a viabilidade técnica do aproveitamento do resíduo de espuma rígida de poliuretano no isolamento térmico de produtos de refrigeração como freezers.

Capítulo 3

Metodologia Experimental

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia empregada neste trabalho foi adotada com o intuito de medir a eficiência do compósito de poliuretano de mamona e raspas de pneus para fins de isolamento térmica e conforto ambiental.

Sendo assim, foram medidas as propriedades térmicas e sonoras do novo material, além da densidade aparente. Para esses ensaios, foram confeccionados corpos de prova nas composições de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação a quantidade de resíduo adicionada à mistura.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Resina expansiva poliuretânica

O poliuretano derivado do óleo da semente de mamona foi obtido a partir de uma resina expansiva rígida fornecida pela empresa PROQUINOR – Produtos Químicos do Nordeste Ltda - , sob o nome comercial de RESINA RESPAN® D-40.

Como é possível constatar na figura 3.1, a resina é um produto poliuretânico bicomponente à base de ácido ricinoléico e seus derivados.

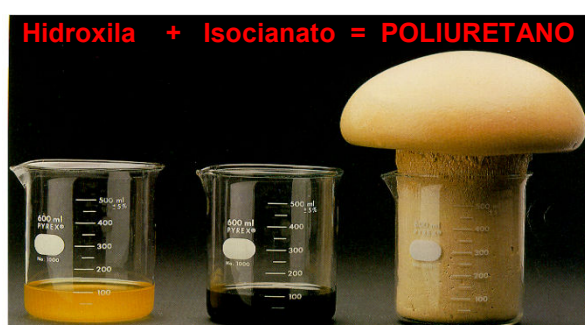


Figura 3.1 - Resina expansiva rígida (PROQUINOR, 2007)

As moléculas hidroxila (poliol), de coloração mais clara na figura 3.1, reagem com o grupo isocianato, de coloração mais escura. A ação de agentes químicos de expansão e catalisadores promovem a expansão da solução acompanhada de acréscimo de temperatura, resultando no poliuretano.

Na tabela 3.1, destacam-se algumas das especificações técnicas, fornecidas pelo fabricante da resina, baseadas em resultados médios.

Tabela 3.1: Especificações técnicas da resina expansiva

Proporção Polioliol : Prepolímero	1 : 1,63
Tempo de Creme	32 – 35 seg
Tempo de Evolução	58 – 65 seg
Densidade (média)	30 - 70 Kg/m ³
Absorção de Água (média)	0,48 %
Temperatura máxima de reação (média)	80°C

Essas especificações nortearam principalmente a confecção dos corpos de prova, pois foi possível estimar o tempo de preparo e mistura dos componentes da resina com o resíduo e, ainda, definir o molde a ser utilizado para que não houvesse reação do molde com a resina em função da temperatura de reação de 80° C.

3.1.2 Raspas de pneus inservíveis

Os resíduos utilizados nesta pesquisa estão na forma de raspas ou fibras provenientes do processo de recauchutagem de pneus, conforme apresentados na figura 3.2.



Figura 3.2 – Raspas ou fibras de pneus proveniente de recauchutagem

Analisando as imagens da figura 3.2, foram visualizados aspectos macroscópicos da morfologia das partículas que constituem as raspas de pneus. Observou-se a existência de partículas com dimensões e formatos diferentes numa

mesma amostra. Essas observações iniciais motivaram a definição da metodologia empregada na caracterização e preparação desse resíduo, a princípio em relação à morfologia das partículas e microscopia ótica e, em seguida, ao tratamento superficial apresentados a seguir.

3.1.2.1 Morfologia das partículas

Para o conhecimento da morfologia das raspas de pneus, foi realizada uma análise macroestrutural das partículas utilizando fotografias obtidas mediante uma câmera digital com resolução de 7.2 MP.

Admitindo que as raspas de pneus possuam características similares aos agregados especificados na NBR 7211/1983 – Agregados para concreto -, foi possível quantificar a sua morfologia mediante análise granulométrica. Esse ensaio foi realizado segundo as NBR NM-ISO 3310-1/1997 – Peneiras para ensaios - e NBR NM 248/2003 – Agregados-Determinação da composição granulométrica -, utilizando as peneiras da série normal 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm e agitador mecânico.

3.1.2.2 Microscopia ótica

A morfologia das fibras do resíduo também foi caracterizada por microscopia ótica por meio de micrografias realizadas com microscópio ótico em campo claro, da marca Olympus, modelo U-TVO.

3.1.2.3 Tratamento superficial com hidróxido de sódio (NaOH)

As raspas de pneus provenientes da recauchutagem foram submetidas a um tratamento superficial com hidróxido de sódio, visando eliminar ou reduzir possíveis impurezas ou resíduos oriundos do processo de recauchutagem e da própria vida útil dos pneus.

Para tanto, foi delimitada uma amostra de 600 gramas do resíduo, utilizando balança digital com precisão de 0,01 gramas, como apresentada na figura 3.4. A amostra foi pesada após passar pela peneira com abertura de 4,8 mm para garantir

que as partículas com dimensões superiores a esse valor fossem desprezadas, como as figuras 3.3 (a) e (b).

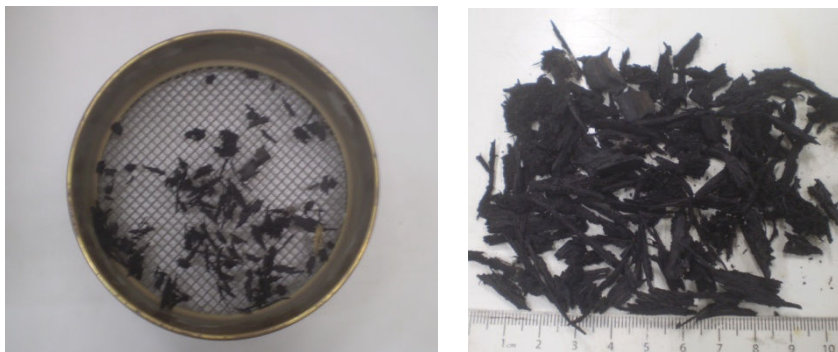


Figura 3.3 – (a) Partículas retidas na peneira 4,8 mm (b) Material desprezado



Figura 3.4 – Amostra com 600 gramas de resíduo

Foram utilizadas 60 gramas de microesferas de hidróxido de sódio (NaOH), correspondentes exatamente a 10% da amostra em massa, diluídas em 1200 ml de água destilada em temperatura ambiente, como mostrado nas figuras 3.5 e 3.6.

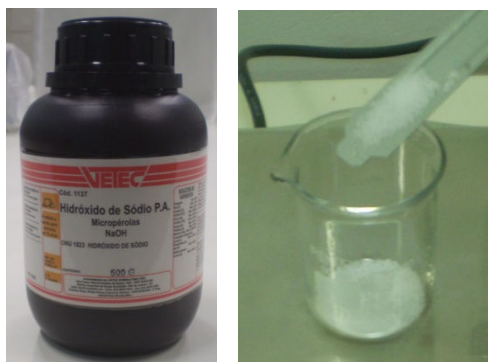


Figura 3.5 – Microesferas de hidróxido de sódio



Figura 3.6 – Hidróxido de sódio diluído em água destilada

A amostra de raspas de pneus foi imersa na solução de NaOH, permanecendo assim em espaço aberto por duas horas, como podemos ver na seqüência da figura 3.7.

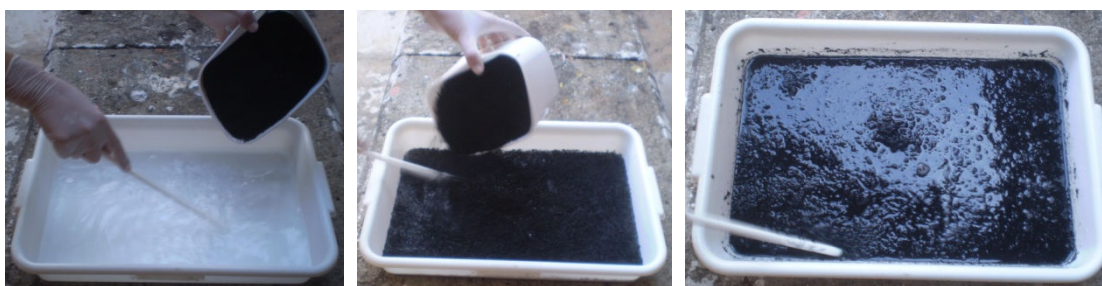


Figura 3.7 – Amostra do resíduo imersa na solução de NaOH

Após as duas horas em descanso, a solução foi retirada sendo a amostra lavada em água corrente e posteriormente lavada na peneira de nº 200 (abertura de 0,074 mm), conforme a seqüência apresentada na figura 3.8.



Figura 3.8 – Resíduo lavado na peneira nº 200

Feitas inúmeras lavagens, o material ficou exposto no ambiente até sua completa secagem (Figura 3.9), estando assim pronto a ser utilizado na confecção dos corpos de prova.



Figura 3.9 – Resíduo molhado para secagem

3.1.3 Preparação do compósito

Para caracterização do compósito de poliuretano derivado do óleo da semente de mamona e raspas de pneus, foram confeccionados corpos de prova moldados em garrafas PET nas composições 0 %, 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao resíduo adicionado na mistura, sendo o corpo de prova na composição de 0% utilizado como referência, constituído de Poliuretano de mamona sem resíduo.

Essas composições foram definidas mediante ensaios preliminares realizados com o intuito de definir a partir de qual concentração do resíduo ocorrem variações das propriedades do compósito. Destarte, as variações significativas ocorreram após o acréscimo de 5% de resíduo. Com uma concentração de resíduo superior a 20%, o compósito apresenta deformações indesejáveis.

Para homogeneização da mistura, empregou-se um misturador mecânico, conforme apresentado na figura 3.10. Inicialmente, misturou-se a borracha de pneus ao componente isocianato dentro do molde (garrafa PET), agitando por dois minutos, com o intuito de garantir que o resíduo de pneus esteja envolvido com a resina. Em

seguida, acrescentou-se a componente hidroxila (poliol), homogeneizando a mistura até o material adquirir forma de creme e apresentar aumento de temperatura.

No tempo de creme, especificado na tabela 3.1, a homogeneização é interrompida e inicia-se o processo de evolução do material. Essa expansão ocorre livremente até o término da reação entre os componentes, hidroxila e isocianato, dando origem ao Poliuretano de mamona, agora com acréscimo da borracha de pneus.



Figura 3.10 – (a) Agitação do poliol no misturador mecânico (b) Mistura no tempo de creme

Após o período de pelo menos 12 horas, os corpos de prova foram desmoldados, retirando-se o plástico PET e obtendo-se finalmente o corpo de prova como na figura 3.11.

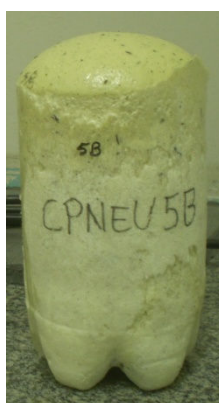


Figura 3.11 – Corpo de prova

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Propriedades térmicas

Com vistas à análise do desempenho térmico do material composto desenvolvido, realizou-se procedimento experimental para a aquisição de propriedades térmicas: condutividade térmica, capacidade calorífica e difusividade térmica, utilizando-se o analisador de propriedades térmicas Quickline™-30 do fabricante Anter Thermal Properties Corp., pertencente ao laboratório do GGEMMA – Grupo de Pesquisa em Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental –, integrante do CCET/UFRN – Centro de Ciências Exatas e da Terra – e apresentada na figura 3.12.

A metodologia é descrita na ASTM D5930/09 – Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique –, sendo as medições realizadas num tempo de 10 a 16 minutos através de sonda que emite e recebe calor da amostra. O equipamento disponibiliza dois tipos de sonda. Um tipo agulha, adequada para materiais porosos e fibrosos, e uma sonda de superfícies para materiais rígidos.

Como o compósito desenvolvido nessa pesquisa é um material poroso, utilizou-se a sonda tipo agulha indicada para medir condutividades térmicas numa faixa de 0,015 a 0,200 W/m.K, efetuando-se um orifício no corpo de prova para a inserção da sonda do equipamento, de acordo com a figura 3.12.



Figura 3.12 – Analisador de propriedades térmicas Quickline™-30 e Corpo de Prova em análise

Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram os mesmos confeccionados conforme descrito no item 3.1.3, obedecendo aos critérios determinados pelo analisador de propriedades térmicas, ou seja, para as amostras cilíndricas, um diâmetro de pelo menos 100 mm e uma altura que envolva pelo menos 80% da sonda. Para cada percentual foram preparadas três amostras, identificadas como A, B e C, sendo realizadas três leituras para posterior obtenção de valores médios nos resultados.

3.2.2 Absorção Sonora

O coeficiente de absorção sonora foi obtido mediante o tubo de impedância sonora pelo método de função de transferência descrito na norma internacional ISO 10534-2:1998.

O tubo de impedância e todo o aparato são originais do tubo de ondas estacionárias B&K 4002, mostrado na figura 4.16, integrado ao sistema de dados, desenvolvido no LAENA – Laboratório de Ensaio Acústicos – pertencente ao INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial –, localizado no campus de Xerém, em Duque de Caxias/RJ.

Esse método utiliza um microfone mantido no centro da seção transversal do tubo, como indicado na figura 3.13, o qual pode ser movido livremente ao longo do seu comprimento. A posição de captação de pressão sonora no interior do tubo é determinada por uma sonda, um carro e uma régua com marcações, conforme representado na figura 3.13. Na ponta da sonda, foi adaptado um microfone de eletreto de $\frac{1}{4}$ ". As medições das funções P1 e P2 são obtidas seqüencialmente, demarcando *l* e *s* na régua. O sistema de medição apresentado na figura 4.17, denominado CMF-22, integra um amplificador de áudio compacto de 2x70W, condicionadores de sinais de microfones e conversores A/D e D/A de alta resolução, sendo o controle de medição feito pelo software "Monkey Forest", aplicando a técnica de varreduras de senos (MASSARANI et al, 2008).

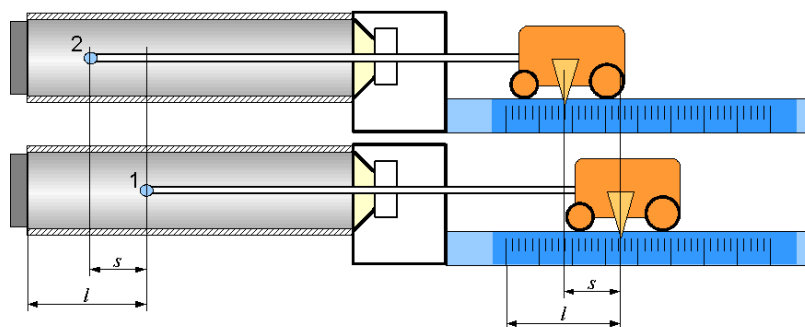


Figura 3.13 – Movimento do microfone ao longo do tubo de impedância

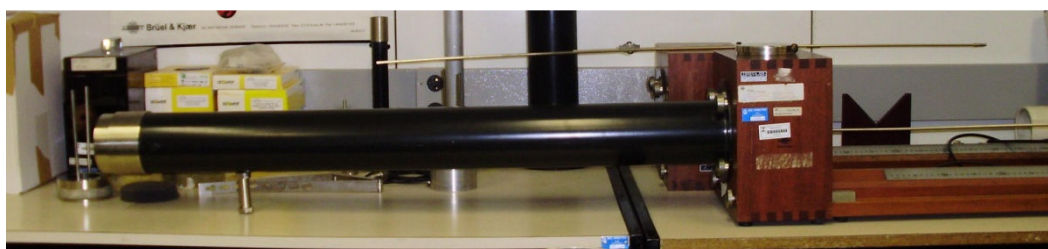


Figura 3.14 – Tubo de impedância

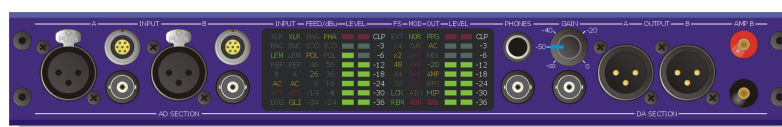


Figura 3.15 – Sistema de dados

Os índices de absorção sonora são obtidos para uma faixa de frequência contida entre 0 Hz e 1000 Hz, delimitada pela frequência de corte do tubo obtida a partir do seu comprimento e diâmetro.

O porta-amostra, apresentado na figura 3.16, tem o formato cilíndrico com diâmetro de 100 mm, coerente com os corpos de prova confeccionados anteriormente, restando apenas uma moldagem com estilete para que a amostra esteja na espessura de 20 mm, conforme podemos verificar na figura 3.17.

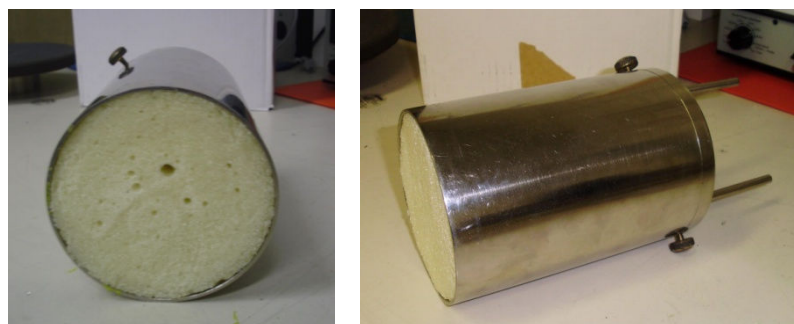


Figura 3.16 – Porta-amostra com amostra



Figura 3.17 – Amostra para ensaio de absorção

3.2.3 Densidade aparente

Para o ensaio de densidade aparente, os corpos de prova foram moldados novamente com estilete, aproximadamente, nas dimensões 30mm x 30mm x 30mm.

O procedimento experimental foi realizado de acordo com a norma ASTM D1622-08, que calcula a densidade aparente segundo a expressão:

$$D = m/V \quad (3.1)$$

em que: D – densidade aparente (kg/m³); m – massa (kg) ; V – volume (m³)

Para esse ensaio, foi utilizada balança eletrônica com precisão de 0,1g e paquímetro.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, os resultados são apresentados e discutidos segundo a abordagem de três aspectos, a saber: a caracterização do resíduo; o desempenho térmico mediante a análise de propriedades térmicas do compósito; e, por fim, o estudo de características acústicas do material composto, através do índice de absorção sonora e densidade aparente.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RASPAS DE PNEUS INSERVÍVEIS

4.1.1 Análise macroscópica

Como é verificável nas imagens da figura 4.1, macroscopicamente, o resíduo utilizado nessa pesquisa possui uma morfologia bastante diversificada constituída de partículas, fibras e raspas. Identificam-se como partículas a parcela da amostra com dimensão inferior a 1 mm, as fibras são percebidas com dimensões entre 1 mm e 5 mm, enquanto as raspas, presentes em menor quantidade na amostra, correspondem aos pedaços com dimensões superiores a 5 mm.

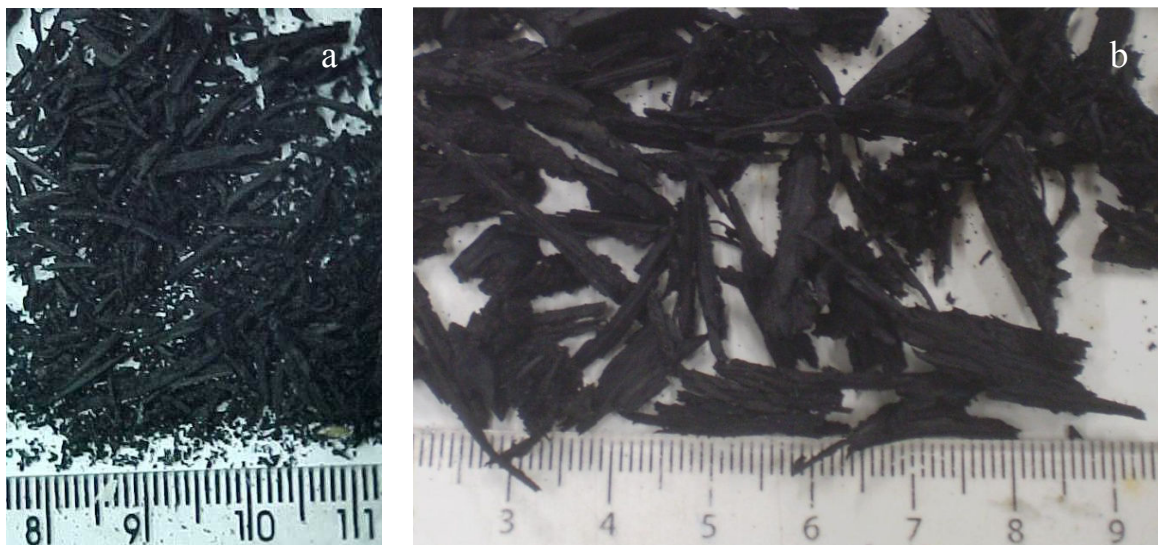


Figura 4.1 – (a) partículas e fibras. (b) as raspas de pneus inservíveis.

Com o intuito de quantificar a presença de partículas, fibras e raspas na composição das amostras do resíduo, fez-se uma análise granulométrica, conforme será apresentada na próxima etapa de caracterização.

4.1.2 Granulometria

A composição granulométrica, apresentada na tabela 4.1 e na curva granulométrica da figura 4.2, permite determinar o tamanho das partículas e fibras e, ainda, definir a sua distribuição ao longo da amostra.

Tabela 4.1: Composição granulométrica do resíduo

PENEIRAS		% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
Nº	mm		
4	4,8	1,50	1,50
8	2,4	7,76	9,26
16	1,2	58,82	68,08
30	0,6	19,48	87,56
50	0,3	7,90	95,46
100	0,15	3,62	99,08
200	0,075	0,92	100,00
	< 0,075	0,00	100,00

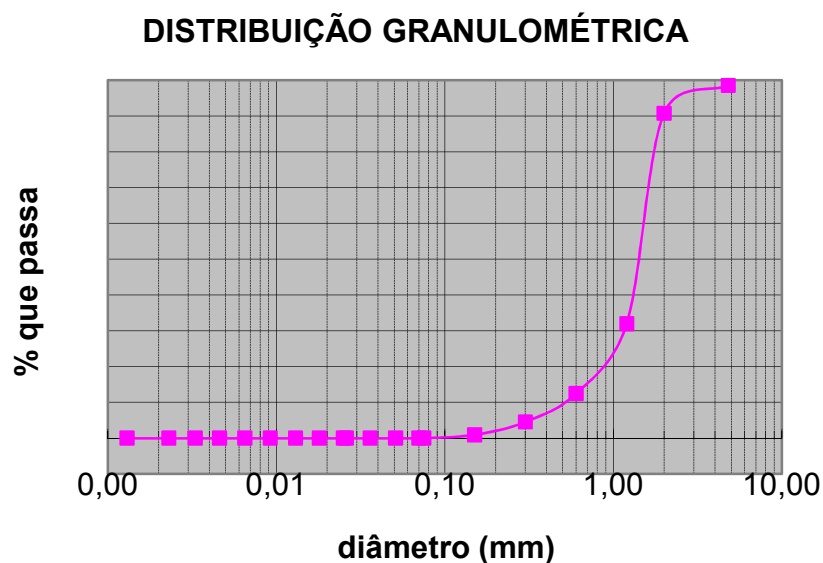


Figura 4.2 – Curva granulométrica do resíduo

A análise granulométrica mostra que a maior concentração do resíduo está na forma fibrilar de dimensões entre 1,2 e 2,4 mm, havendo, aproximadamente, 20% de partículas com dimensões entre 0,6 e 1,2 mm. Constata-se também que a amostra não apresenta quantidades representativas do resíduo na forma de raspas e pó.

Após essa análise, optou-se por desprezar os pedaços maiores de material (superiores a 5 mm) e trabalhar com o resíduo que passou na peneira de 4,8 mm em virtude da grande quantidade de impurezas misturadas a essas raspas. Também foram dispensadas as partículas pulverulentas do resíduo por tornarem o material composto instável.

4.1.3 Microscopia ótica

A caracterização do resíduo por microscopia ótica foi utilizada para discussão de dois aspectos do material: a estrutura superficial das fibras e a influência do tratamento com hidróxido de sódio (NaOH) nessa estrutura.

Na figura 4.3 (a), é verificável que a fibra de pneu possui uma superfície rugosa e irregular associada a uma película oleosa que beneficiou a existência de impurezas fixas e grudadas a essa interface.

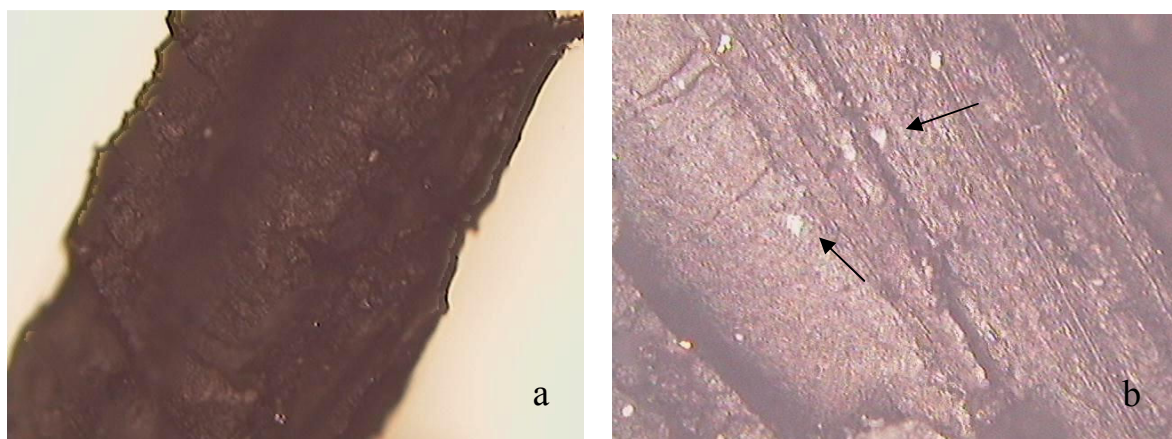


Figura 4.3 – Micrografia da fibra de pneu com aumento de 10x: (a) antes do tratamento com NaOH (b) após o tratamento com NaOH

As figuras 4.3 (b) e 4.4 (a) apresentam a fibra de pneu após o tratamento com NaOH com uma superfície menos oleosa e praticamente livre de impurezas. Entretanto, constatou-se também a presença de microcristais de NaOH remanescentes do tratamento que indicou a necessidade de outras lavagens do

resíduo para retirada definitiva do hidróxido de sódio, ficando assim evidente que a microscopia foi fundamental para o controle da eficiência do tratamento realizado.

O tratamento superficial com NaOH promoveu a limpeza das fibras, conforme a figura 4.4 (b), removendo essas oleosidades, impurezas e vestígios.

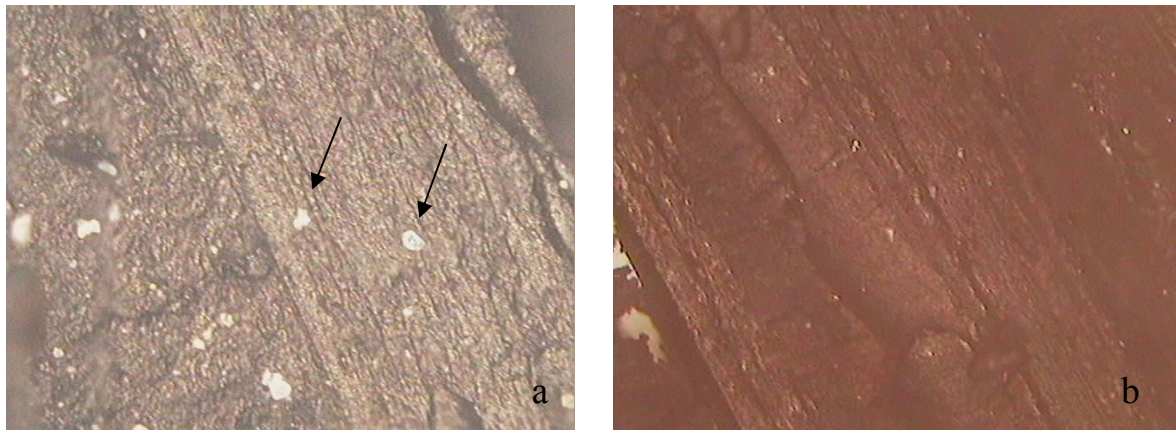


Figura 4.4 – Micrografia da fibra de pneu após o tratamento com NaOH: (a) com aumento de 20x (b) com aumento de 5x

A limpeza da interface das fibras promoveu uma melhor aderência da resina expansiva de mamona ao resíduo, evitando que esta aderisse as impurezas ao invés das fibras.

4.2 ENSAIO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS

De acordo com a metodologia apresentada anteriormente, as medições realizadas através do analisador de propriedades térmicas Quickline™-30 forneceu a capacidade calorífica, a condutividade e a difusividade térmica.

Os dados medidos estão constantes nos apêndices A e B, bem como o cálculo de desvio padrão e incerteza nos apêndices C e D, para o compósito obtido a partir do poliuretano rígido de mamona e fibras de pneus inservíveis, com e sem tratamento superficial.

A tabela 4.2 apresenta as propriedades térmicas médias medidas do poliuretano de mamona e do compósito proposto para isolamento térmica além de isolantes térmicos comerciais para fins de comparação.

Tabela 4.2: Propriedades térmicas médias dos materiais

MATERIAL		CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	CAPACIDADE CALORÍFICA (10 ⁶ J/m ³ .K)	DIFUSIVIDADE TÉRMICA (10 ⁻⁶ m ² /s)
Poliuretano de mamona	CP0	0,0302	0,0634	0,4754
Compósito 5%	CP5	0,0324	0,0818	0,3958
Compósito 10%	CP10	0,0322	0,0803	0,4012
Compósito 15%	CP15	0,0320	0,0816	0,3914
Compósito 20%	CP20	0,0326	0,0867	0,3766
Compósito 5% tratado NaOH	CPT5	0,0315	0,0760	0,4163
Compósito 10% tratado NaOH	CPT10	0,0339	0,0933	0,3635
Compósito 15% tratado NaOH	CPT15	0,0337	0,0908	0,3721
Compósito 20% tratado NaOH	CPT20	0,0373	0,1278	0,2920
Poliuretano de petróleo ¹	-	0,0484	0,0790	0,6200
Lã de vidro ¹	-	0,0450	0,0700	0,6400
Lã de rocha ¹	-	0,0360	0,0840	0,4800

¹Fonte: Borges (2009).

Inicialmente, foi verificado que o tratamento superficial realizado com hidróxido de sódio não influenciou a condutividade térmica do compósito e que a adição do resíduo ao poliuretano manteve a baixa condutividade característica do poliuretano de mamona, evidenciando que a inserção do resíduo elastomérico não corrompeu essa característica no compósito, como constatado na figura 5.4.

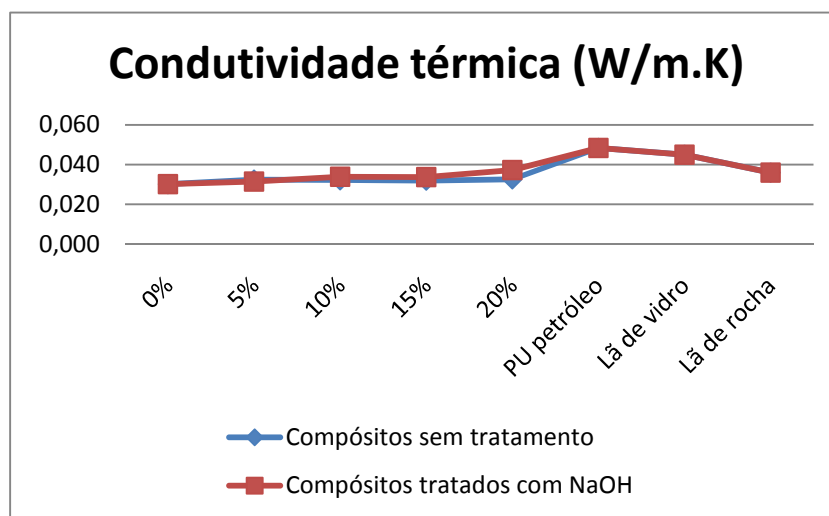


Figura 4.5 – Gráfico de condutividade térmica dos materiais

A tabela 4.2 apresenta variações, não lineares, nos valores de capacidade calorífica, concernente a anisotropia desse material composto, que não comprometem seu desempenho térmico.

Entretanto, na figura 4.6, podemos verificar que a capacidade calorífica do compósito é superior, não somente ao poliuretano de mamona, como também ao poliuretano de petróleo e às fibras minerais. Esse fato demonstra que a inserção do resíduo beneficia o material composto desenvolvido, quando aumenta a quantidade de energia térmica necessária para a elevação da temperatura do material, motivando assim sua aplicação no isolamento térmico de dutos cuja função principal é exatamente combater eventuais alterações de temperatura ao longo do tubo. O tratamento superficial com NaOH contribuiu positivamente com essa propriedade promovendo o aumento da capacidade calorífica do compósito em até 50% devido, principalmente, a melhoria da adesão entre a matriz poliuretânica e o resíduo.

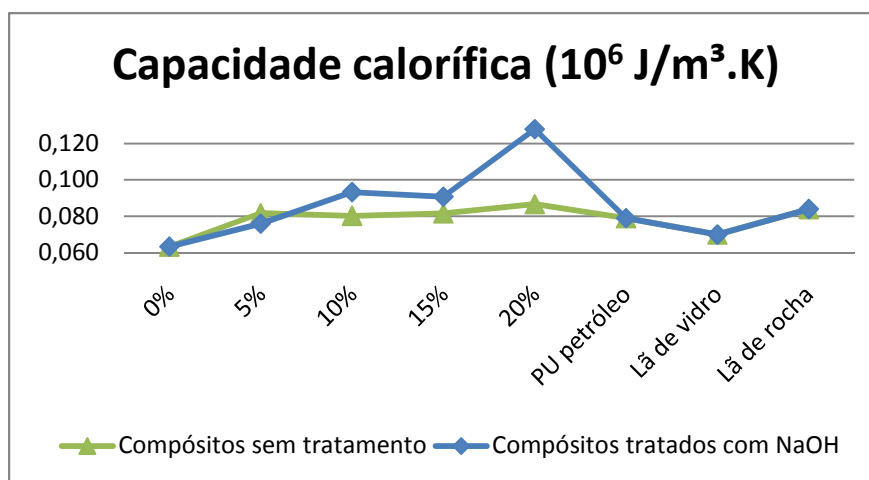


Figura 4.6 – Gráfico de capacidade calorífica dos materiais

Os resultados da difusividade térmica, apresentados na figura 4.7, mostraram que o compósito aquece mais lentamente que o poliuretano de mamona, apresentando desempenho ainda melhor com a adição do resíduo tratado. O compósito com 15% de resíduo tem uma difusividade 27% menor que o PU de mamona e aproximadamente 65% menor que o PU de petróleo e a lã de vidro, demonstrando que o material composto desenvolvido nesse trabalho propaga o calor mais lentamente, favorecendo sua utilização no conforto térmico de ambientes.

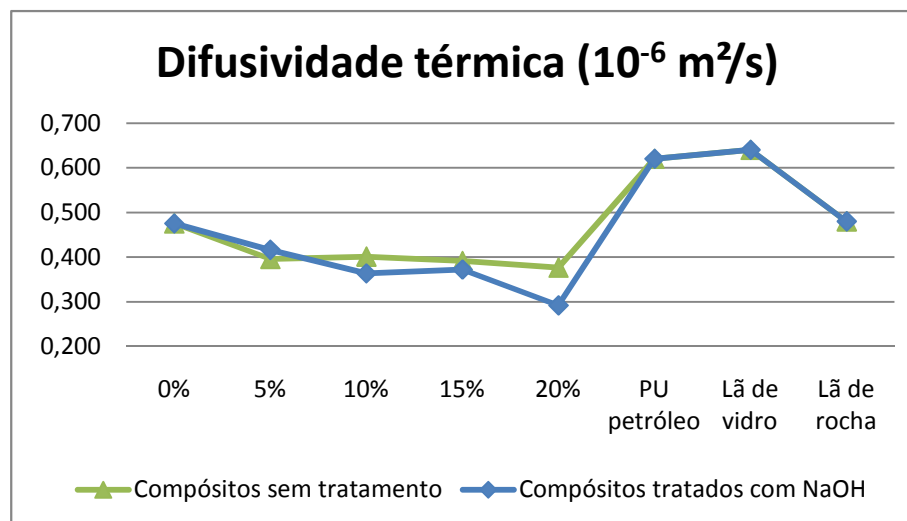


Figura 4.7 – Gráfico da difusividade térmica (10⁻⁶ m²/s) dos materiais

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO SONORA

Os índices de absorção sonora medidos pelo método do tubo de impedância, constantes nos apêndices E a J, são apresentados através de gráficos, obtidos a partir do software “Monkey Forest”, desenvolvido pelo INMETRO.

Nesses gráficos, o eixo horizontal é composto da faixa de frequência de 0 a 1000 Hz e o eixo vertical dos valores correspondentes a absorção sonora, variando de 0 a 1, em que o zero corresponde aos materiais de superfície rígida com absorção de 0% e 1 os materiais 100% absorventes.

Por meio desses gráficos, são apresentados os resultados referentes aos compósitos, poliuretano de mamona e de petróleo, lãs de vidro e de rocha. Para tanto, utilizam-se as identificações a seguir: CP0 – Poliuretano de mamona; CP5 – Compósito obtido a partir do poliuretano de mamona e 5% de fibras de pneus inservíveis; CP10 – Compósito com 10% do resíduo; CP15 – Compósito com 15% do resíduo; CP20 – Compósito com 20% de fibras de pneus; CPP – Poliuretano proveniente de fonte petrolífera; CPLV – Lã de vidro e CPLR – Lã de rocha.

Na figura 4.8, é observada absorção sonora do PU de mamona comparado a absorventes sonoros comerciais. Nesse gráfico, é possível verificar que o poliuretano proveniente do óleo da semente de mamona absorve até 5% de ondas sonoras, tendo um desempenho inferior em relação aos demais materiais apresentados.

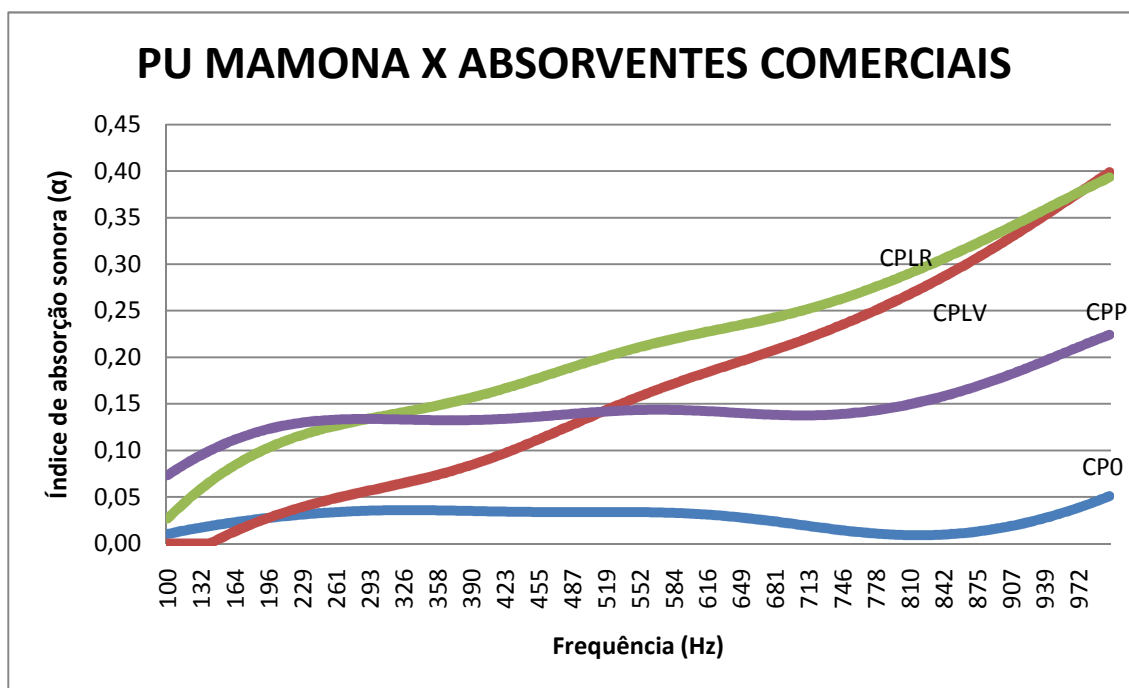


Figura 4.8 – Gráfico de absorção sonora do PU de mamona (CP0), PU de petróleo (CPP), lãs de vidro (CPLV) e de rocha (CPLR)

O poliuretano de origem petrolífera está entre o PU de mamona e as fibras minerais que chegam a absorver 40%, como o caso da lã de rocha. Esse resultado pode ser justificado pela estrutura rígida de poros fechados do PU de mamona ensaiado. O poliuretano de petróleo utilizado no ensaio foi do tipo flexível com poros abertos apresentando absorção sonora superior a 20%.

Os poros abertos característicos dos poliuretanos flexíveis, assim como os interstícios ou espaços existentes na estrutura das fibras minerais, promovem uma melhor absorção sonora em virtude das tortuosidades criadas por essas cavidades, que transformam as ondas sonoras incidentes no material em energia térmica.

A figura 4.9 mostra o desempenho dos compósitos em relação ao poliuretano de mamona. E, nesse gráfico, constatou-se que, com exceção do compósito com 20% de resíduo, cujo comportamento esteve bem próximo do poliuretano de mamona, os demais compósitos apresentaram melhores resultados de absorção em relação ao PU de mamona, com ênfase para o compósito com 15% de resíduo, que chegou a absorver três vezes mais que os demais materiais nas proximidades dos 1000 Hz.

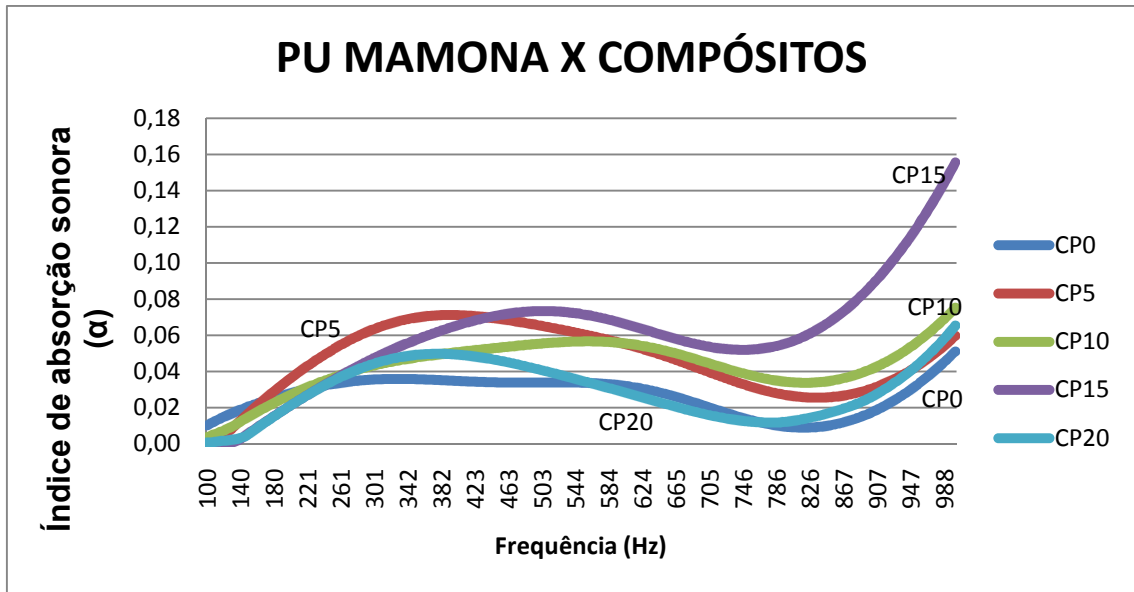


Figura 4.9 – Gráfico de absorção sonora do PU de mamona e compósitos

Nas figuras 4.10 e 4.11 destacamos o compósito com 15% de fibras de pneus inservíveis, que apresentou melhor resultado diante das outras composições do material desenvolvido, em relação às fibras minerais, ao poliuretano de mamona e de petróleo. Os gráficos mostram que o compósito com 15% de resíduo possui coeficiente de absorção sonora, superior ao PU de mamona, de aproximadamente 15%, estando cerca de apenas 7% inferior ao PU de petróleo. Com isso, pode-se afirmar que o desempenho de um novo compósito utilizando um poliuretano flexível pode ser equivalente ou até superior ao PU de petróleo.

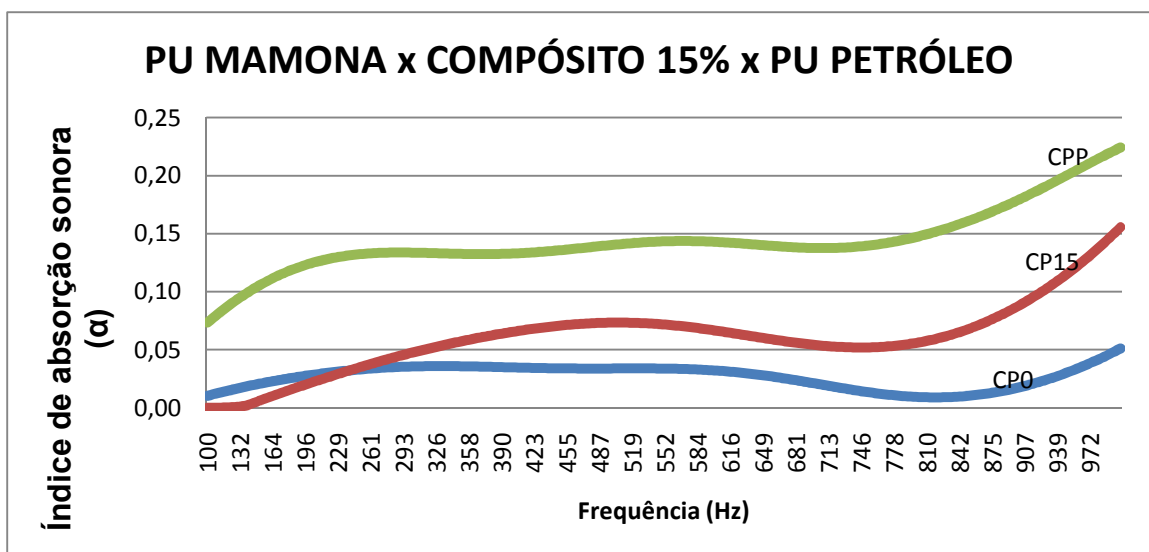


Figura 4.10 – Gráfico de absorção sonora do compósito com 15% de resíduo (CP15), PU de mamona (CP0) e petróleo (CPP)

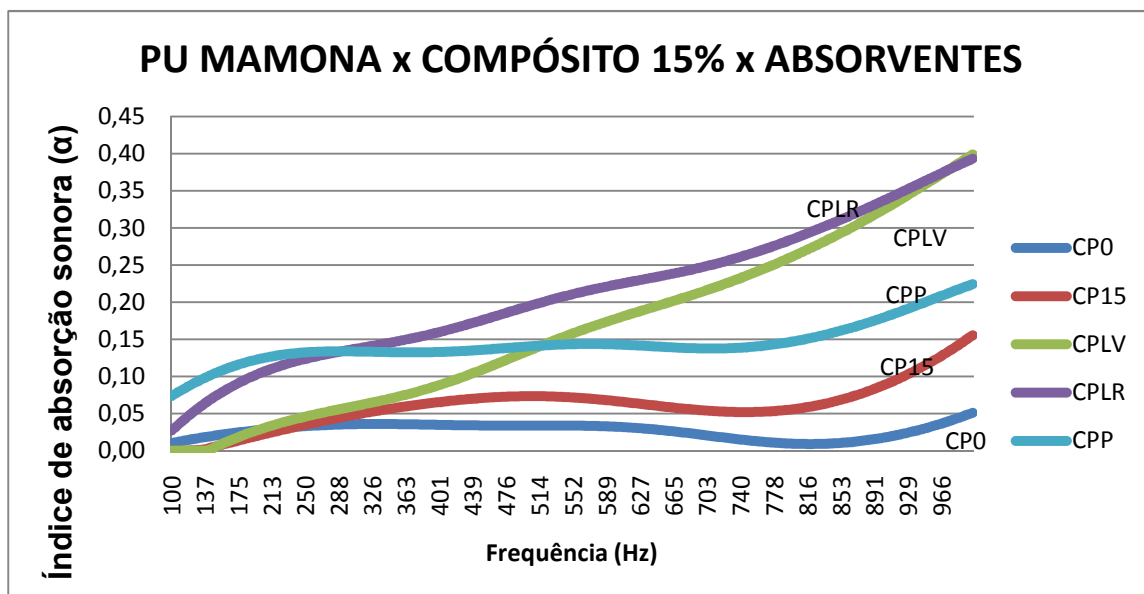


Figura 4.11 – Gráfico de absorção sonora do composto com 15% de resíduo (CP15), fibras minerais (CPLV e CPLR), PU de mamona (CP0) e petróleo (CPP)

Pode-se atribuir o melhor desempenho do composto com 15% do resíduo, a relação entre as interfaces das fibras de pneus inservíveis e da resina expansiva, que possivelmente resultou numa maior interligação entre poros e conseqüente acréscimo de tortuosidade ao interior do material.

A figura 4.12 apresenta todos os materiais analisados reunidos em um mesmo gráfico, indicando o desenvolvimento dos seus índices de absorção sonora ao longo da faixa de frequência experimentada.

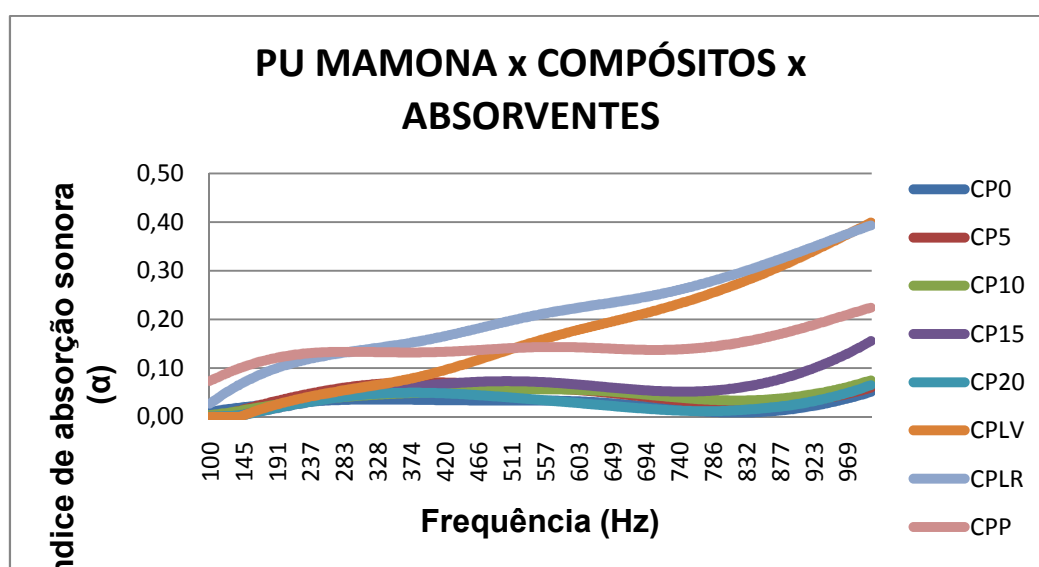


Figura 4.12 – Gráfico de absorção sonora dos compostos, fibras minerais, PU de mamona e petróleo

4.4 ENSAIO DE DENSIDADE APARENTE

Na tabela 4.3, são apresentadas as densidades médias dos materiais, obtidas a partir dos dados medidos e constantes no apêndice K.

Tabela 4.3: Densidades médias dos materiais

CORPOS DE PROVA	CP0	CP5	CP10	CP15	CP20	CPT5	CPT10	CPT15	CPT20
DENSIDADE (kg/m ³)	39,85	51,21	56,46	54,13	59,13	54,21	71,91	73,92	98,25

Os resultados da tabela 4.3 e da figura 4.13, demonstram que o acréscimo do resíduo ao poliuretano de mamona aumentou a densidade do compósito, conforme previsto, diante das propriedades elastoméricas das fibras de pneus.

Para análise da figura 4.13, utilizam-se as identificações a seguir: CP0 – Poliuretano de mamona; CP5 – Compósito obtido a partir do poliuretano de mamona e 5% de fibras de pneus inservíveis; CP10 – Compósito com 10% do resíduo; CP15 – Compósito com 15% do resíduo; CP20 – Compósito com 20% de fibras de pneus. O acréscimo do T nas nomenclaturas CPT5, CPT10, CPT15 e CPT20, indica que foram utilizadas fibras de pneus tratadas com hidróxido de sódio.

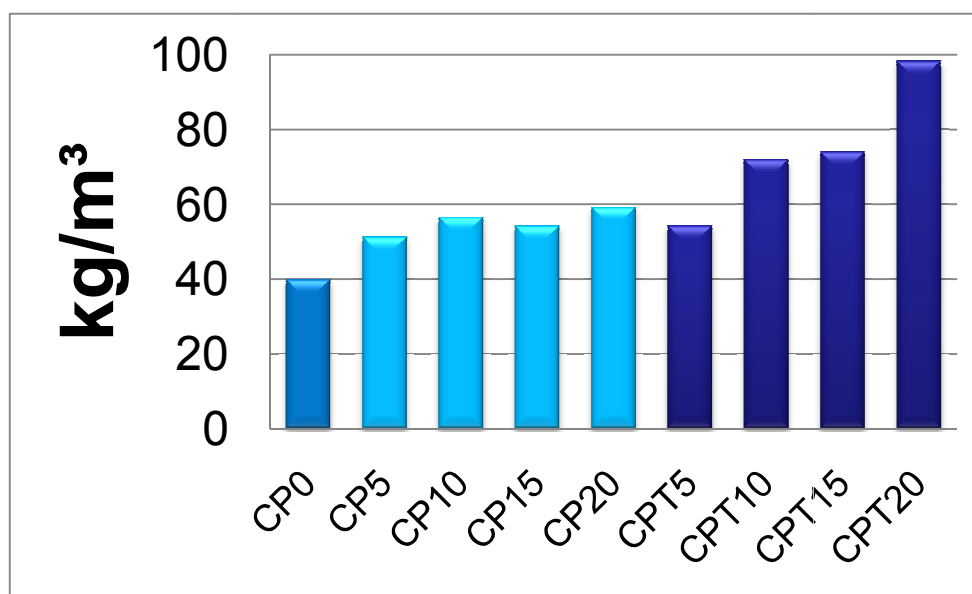


Figura 4.13 – Gráfico de densidades do PU de mamona e dos compósitos com e sem tratamento do resíduo

Na figura 4.13, é possível observar também, que o tratamento superficial com NaOH aumentou mais ainda a densidade, em função da maior aderência das fibras à matriz poliuretânica e conseqüente aumento da área de contato reforço-matriz, propiciando a redução de porosidade.

A majoração da densidade no compósito com raspas de pneus tratados com hidróxido de sódio justifica o aumento da capacidade calorífica, como se pode verificar na expressão 1.2, que define a densidade e a capacidade calorífica como grandezas diretamente proporcionais, e na comparação das figuras 4.13 e 4.14.

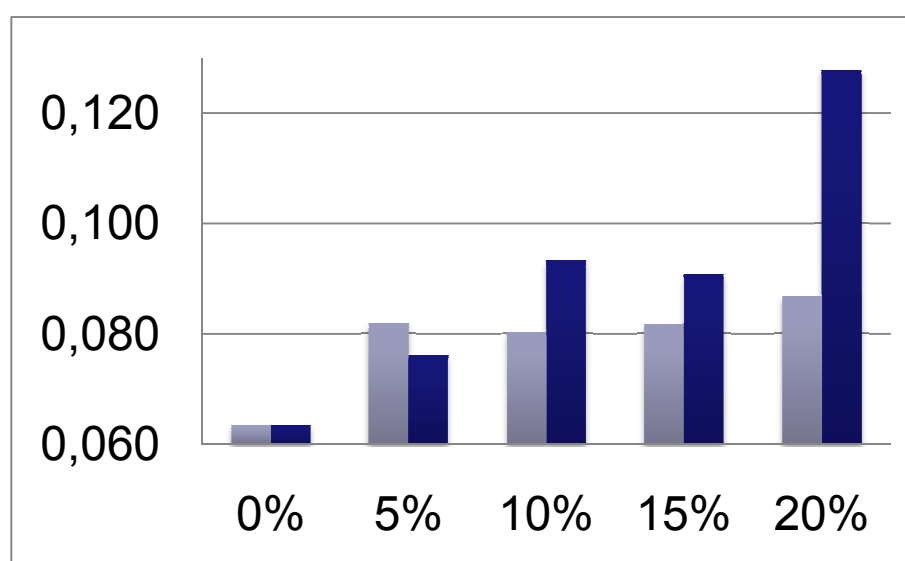


Figura 4.14 – Gráfico de capacidade calorífica do PU de mamona (0%) e dos compósitos nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo sem o tratamento e tratados com NaOH

De acordo com a expressão 1.3, quanto maior a densidade, mais lentamente o material irá responder as variações do ambiente térmico. Essa relação é confirmada por meio da análise da relação entre o acréscimo das densidades na figura 4.13 e o decréscimo das difusividades térmicas na figura 4.15 para o poliuretano e compósitos utilizando resíduo não tratados e tratados.

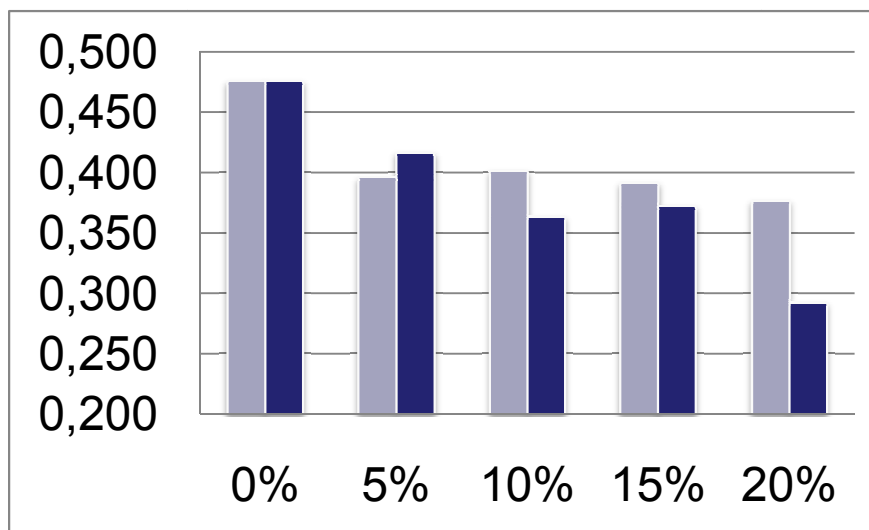


Figura 4.15 – Gráfico de difusividade térmica do PU de mamona (0%) e dos compósitos nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo sem o tratamento e tratados com NaOH

4.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Diante do desempenho satisfatório do compósito produzido nesta pesquisa, como isolante térmico e potencial absorvente sonoro, em comparação ao poliuretano de mamona, a análise das perspectivas comerciais do novo produto é fundamental para a constatação da sua viabilidade econômica.

A tabela 4.4, apresenta um levantamento de preços do poliuretano de petróleo, de mamona e da lã de vidro, como principais isolantes térmicos e absorventes sonoros disponíveis atualmente no mercado, e do compósito com 15% do resíduo, que apresentou melhor desempenho, quando se associou as propriedades de isolamento térmico e absorção sonora. Tais informações indicaram que o compósito possui potencial para aplicação comercial, visto que apresentou um preço por metro quadrado, cerca de 50% menor, que a do poliuretano de petróleo, material de preço mais elevado.

Tabela 4.4: Levantamento de preços dos materiais por m²

Material	R\$/m ²	%
PU petróleo	68,00	100
Lã de vidro	50,00	73,5
PU mamona	42,00	62
PU mamona 15% resíduo	35,00	51,5

Capítulo 5

Conclusões

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta a análise dos resultados referentes ao desenvolvimento de um novo material compósito produzido a partir da resina expansiva de mamona e resíduo industrial, proveniente da recauchutagem de pneus.

A metodologia experimental utilizada foi satisfatória ao objeto da pesquisa, proporcionando uma caracterização do resíduo complementar à disponibilizada pela revisão bibliográfica e, ainda, enfatizando propriedades que indicam as aplicações do material desenvolvido enquanto isolante térmico e absorvente sonoro.

A análise macroscópica e microscópica permitiu classificar e delimitar as fibras de pneus inservíveis apropriadas ao material desenvolvido, sendo imprescindível no momento de ratificar a eficiência do tratamento superficial realizado com hidróxido de sódio, quando utilizado na retirada de impurezas do resíduo.

O procedimento experimental referente ao tratamento superficial com hidróxido de sódio foi criado especialmente para esse trabalho, proporcionando resultados recompensadores que extrapolaram o escopo da pesquisa, através da produção de um manual científico que irá demonstrar, passo a passo, o roteiro experimental para o tratamento superficial de resíduos sólidos, diante da restrita disponibilidade de metodologias específicas para este tipo de material.

No âmbito das propriedades térmicas, a metodologia empregada permitiu quantificar a capacidade calorífica, a condutividade e a difusividade térmica como medidas determinantes para a qualificação do novo material proposto como isolante térmico com aplicações na indústria petrolífera, construção civil, refrigeração e agricultura.

A condutividade térmica se manteve linear e aproximadamente igual a 0,030 W/m.K, em todas as proporções estudadas do compósito (5%, 10%, 15% e 20% de fibra de pneus) em relação ao poliuretano de mamona sem o resíduo, apresentando resultados menores que o poliuretano proveniente de petróleo e fibras minerais. Esse parâmetro permite concluir que o compósito desenvolvido pode ser utilizado como isolante térmico com desempenho equiparável e até superior aos isolantes comerciais.

Os altos valores de capacidade calorífica alcançados pelos compósitos, principalmente na proporção de 20% do resíduo, e ainda majorados pelo tratamento superficial com hidróxido de sódio, comprovaram as perspectivas de aplicação do referido material no isolamento térmico de dutos de petróleo e gás. Atualmente, utiliza-se o poliuretano de origem petrolífera, porém com eventuais falhas causadas pela diferença de temperatura existente entre o fluido e o ambiente externo do tubo. Sendo assim, o compósito pesquisado é uma opção de material isolante esperada pelo setor.

A difusividade térmica mensurada apresentou valores menores em todos os compósitos, com ênfase também no compósito com 20% de fibras de pneus tratadas com NaOH, resultados esses indicativos de que o material leva mais tempo para aquecer do que o poliuretano de petróleo e as lãs de vidro e de rocha. Dessa forma, conclui-se que esse compósito poderá contribuir com o conforto térmico, quando incorporado à estrutura física de ambientes, dificultando as possíveis trocas de calor entre eles.

A utilização de um material composto constituído do poliuretano de mamona e fibras de pneus inservíveis como isolante térmico, é bastante proveitosa devido à redução da quantidade em massa de até 20% de PU em substituição às fibras do resíduo industrial, propiciando a obtenção de um compósito de custo inferior ao PU de mamona, além da proposta de destinação e reciclagem de um resíduo urbano que constitui um atual e preocupante problema ambiental.

Em relação aos índices de absorção sonora, concluiu-se que a adição de fibras de pneus aumentou a capacidade absorvente dos compósitos, apesar da matriz poliuretânica proveniente de resina expansiva rígida.

A densidade dos compósitos são superiores ao poliuretano de mamona sem o resíduo, principalmente com a utilização do resíduo tratado superficialmente com hidróxido de sódio, reafirmando o potencial do material composto como isolante térmico e acústico.

Assim sendo, constata-se que a presente pesquisa culminou na obtenção do material composto denominado poliuretano derivado do óleo da semente de mamona reforçado com fibras de pneus inservíveis, com características que o qualifica como um isolante térmico com potencial de absorção sonora, superior ao poliuretano rígido de mamona.

Sugestões para pesquisas futuras

Diante das conclusões apresentadas, é verificável que os objetivos propostos e as expectativas existentes em relação à presente pesquisa foram satisfeitas, conduzindo a outras análises e alternativas de trabalhos futuros, como as que serão apresentadas a seguir:

- Analisar o desempenho do compósito desenvolvido como isolante acústico;
- Analisar o desempenho térmico e acústico do compósito desenvolvido nessa pesquisa quando utilizado no recheio de painéis tipo sanduíche com aplicação em vedações e coberturas;
- Experimentar resinas expansivas com outras densidades;
- Experimentar outras composições granulométricas das fibras de pneus;
- Experimentar outros resíduos;
- Desenvolver compósitos utilizando resina expansiva flexível e semiflexível para fins de isolamento térmico e absorção sonora;
- Analisar a matriz poliuretânica proveniente de outros óleos vegetais.

Referências

REFERÊNCIAS

ABE, R. M. *Estudo do poliuretano de alta densidade para proteção externa de oleodutos térmicos*. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ALMEIDA, M. G. *Incorporação de polietileno pós-consumo em espumas de polietileno de baixa densidade*. 2006. 89f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM D1622: Standard test method for apparent density of rigid cellular plastics*. 2008.

ARAÚJO, C. R. et al. *Thermal properties of commercial and castor oil polyurethane composites with curaua fiber*. In: International Symposium on natural polymers and composites, 4, 2002, São Pedro. Anais..., São Carlos: USP.

ASHBY, M. F., JONES, D. R. H. *Engineering materials 2: An introduction to microstructures, processing and design*. Second edition. England: Butterworth Heinemann, 1999.

ASHRAE – American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioned Engineers. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, USA, Standard 55-1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR NM-ISO 3310: Peneiras para ensaio*. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7211: Agregados para concreto*. 1983.

ASTM D5930: *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique*. 2009.

ASTRANA JUNIOR, C. A. L. *Estudo da absorção sonora e permeabilidade em concretos asfálticos drenantes*. 2006. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARBOSA, M. B. *Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho*. 2006. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

BERTHELOT, J. *Composite materials: Mechanical behavior and structural analysis*. New York: Springer, 1999.

BORGES, J. C. S. *Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica*. 2009. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução*. 5ª edição. São Paulo: LTC, 2002.

CAMPOS, P. S. *Aproveitamento industrial da borracha reciclada de pneus usados*. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado em gestão ambiental) – Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Universidade do Minho, Minho.

CASTELLO, XAVIER. *Efeitos do processo de instalação na resistência estrutura de dutos sanduíche*. 2005. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia

Oceânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. *Resolução CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999.*

CONTEC – COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS DA PETROBRÁS. N-556. *Isolamento térmico de dutos com espuma de poliuretano expandido, 2000.*

CORREIA, C. M. P. *Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo.* 2009. 93f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos.

COSTA, H. M., VISCONTE, L. L. Y, NUNES, R. C. R., FURTADO, C. R. G. *Aspectos históricos da vulcanização.* Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 13, n. 2, p.125-129, 2003.

FILHO, F. P. D., BRITO, L. A. P. F. *Análise das características mecânicas, térmicas e acústicas de blocos de concreto produzidos com areia e pó de serra: Uma alternativa ambiental.* In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) & IV Conferência latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. Maceió. Trabalhos técnicos... Maceió: ANTAC, 2005.

FREITAS, C. *Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas.* 2007. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FREITAS, Ruskin. *O que é conforto.* ENCAC/ELACAC. UFRJ. Alagoas. 2005.

FROTA, Anésia Barros & SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de Conforto Térmico*. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel. 2001.

GONÇALVES, C. G. O., VILELA, R. A. G, FACCIN, R., BOLOGNESI, T. M, GAIOTTO, R. B. *Ambiente de trabalho e a saúde do trabalhador: uma proposta de controle de ruído*. InterfacEHS: Revista de gestão integrada em saúde do trabalhador e meio ambiente, v. 3, n. 2, Artigo 4, 2008.

GOODYEAR. As origens da goodyear. Disponível em: http://www.goodyear.com.br/informacoes_corporativas/goodyear_mundo/goodyear_mundo.html. Acesso em 15 fev. 2009.

GUERRA, B. B., FURTADO, C. R. G., COUTINHO, F. M. B. *Avaliação reológica de elastômeros e suas composições*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 14, n. 4, p. 289-294, 2004.

HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J. *Fundamentos de Física*. 4ª edição. São Paulo: LTC. 1996.

ILDA, I. *Ergonomia-projeto e produção*. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 1382: Rubber – Vocabulary*. 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 354: Acoustics - Measurement of Sound Absorption in Reverberation Rooms*, 1985.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10534-1: Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio*, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10534-2: Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method*, 1998.

KIPPER, L. M., CROSSETTI, G. L, BECKER, R. C. *Estudo do aproveitamento do resíduo de espuma rígida de poliuretano no isolamento térmico de produtos de refrigeração – Na busca da manufatura sustentável*. In: 28th Encontro Nacional de Engenharia da Produção. Rio de Janeiro. Trabalhos técnicos... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

KRUGER, E. L., SUETAKE, G. Y., ADRIAZOLA, M. K. O. *Avaliação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens tetra pak*. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) & IV Conferência latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. Maceió. Trabalhos técnicos... Maceió: ANTAC, 2005.

LAMBERTS, Roberto. “*Desempenho Térmico de Edificações*”, Notas de aula, 5ª edição, UFSC, Santa Catarina, Brazil, 2007.

LIMA, J. P. *Modelagem e teste de condutividade térmica em placa de gesso e fibra vegetal, mauritia vinifera martius, para uso na construção civil*. 2005. 117f. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LOPES, C. E. M., et al. *Reciclagem de Pneus Inservíveis: Estudo Comparativo de Métodos e Quantificação para a cidade do Natal-RN*. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, ES, 2002.

LUCAS, E. F., SOARES B. G., MONTEIRO, E. E. C. *Caracterização de Polímeros: Determinação de peso molecular e análise térmica*. Rio de Janeiro: E-papers, 2001.

MACEDO, D. C. B., TUBINO, R. M. C. *Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu*. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em concreto pré-moldado. São Carlos, 2005.

MALLICK, P. K. *Composites engineering handbook*. New York: Taylor & Francis, Inc, 1997.

MARQUES, A. C., NIRSCHL, G. C., AKASAKI, J. L. *Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus*. HOLOS Environment, v. 6, n. 1, p.31, 2006.

MASSARANI, P., ARAÚJO, M. A. N. *Implementação de medição em tubo de impedância com um método de função de transferência*. In: VI Congresso Iberoamericano de Acústica. Buenos Aires, 2008.

MENEGUINI, E. C. A. *Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha*. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MOTHÉ, C. G., ARAÚJO, C. R. *Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 14, n. 4, p.274-278, 2004.

NEIRA, D. S. M. *Fibras de sisal (agave sisalana) como isolante térmico de tubulações*. 2005. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ODA, S., JUNIOR, J. L. F. *Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação*. Acta Scientiarum, v. 23, n. 6, p.1589-1599, 2001.

OLIVEIRA, M. C. R., MARINHO, G. S. *Composite of castor oil expansion resin and residue industrial for the insulation of thermal pipelines*. In: 20th International Congress of Mechanical Engineering 2009. Gramado. Trabalhos técnicos... Gramado: ABCM, 2009.

OLIVEIRA, M. M. F., ARAÚJO, V. M. D., MENDES, J. U. L., MARINHO, G. S. *Isolamento térmico de coberturas através de fibra vegetal*. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) & III Conferência latino-americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações. Curitiba. Comunicações técnicas... Curitiba: ANTAC, 2003.

OLIVEIRA, E. C., TEODORO, E. B. *Métodos para medição do coeficiente de absorção sonora*. In: 15th Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Uberlândia. Trabalhos técnicos... Uberlândia: FEMEC/UFU, 2005.

PADILHA, A. F. *Materiais de Engenharia: Microestrutura e propriedades*. Curitiba: Hemus, 2000.

PAOLI, M. A. *Degradação e estabilização de polímeros*. 1^a edição. São Paulo: Artliber editora, 2009.

PINHEIRO, J. H. M. *Incorporação de borracha de pneu em misturas asfálticas de diferentes granulometrias*. 2004. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PROQUINOR, Produtos Químicos do Nordeste LTDA. CD Interativo, 2007.

RODRIGUES, M. R. P. *Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil*. 2008. 252f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia da São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RODRIGUES, J. M. E. *Preparação de poliuretana à base de óleo de mamona*. 2005. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

RODRIGUES, M. R. P. *Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil*. 2008. 256f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

ROSA, D. S., MORENO JR., A. L., MARTINS, T. C. *Avaliação da granulometria na incorporação de pneus pós-consumo em compósitos de concreto*. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 26, n. 2, p.103-110, 2007.

SANTOS, A. C. *Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas*. 2005. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

SILVA, R. V. *Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais*. 2003. 139f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Área interunidades em ciência e engenharia de materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVESTRE FILHO, G. D. *Comportamento mecânico do poliuretano derivado de óleo mamona reforçado por fibra de carbono: contribuição para o projeto de hastes de implante de quadril*. 2001. 136f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SOUZA, N. S. S., CARVALHO, F. M., FERNANDES, R. C. P. *Hipertensão arterial entre trabalhadores de petróleo expostos a ruído*. Cad. Saúde Pública, v. 17, n. 6, p.1481-1488, 2001.

STRONG, A. B. *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. 2ª edição. Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 2008.

TESSARI, JANAINA. *Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil*. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

TINOCO, I. F. F. *Avicultura industrial: Novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros*. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v. 3, n. 1, 2001.

VERONESE, V. B. *Relação estrutura propriedade de espumas rígidas de poliuretano à base de óleos vegetais*. 2009. 121f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, R. J. A. *Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos*. 2008. 262f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém.

VILAR, W. D. *Química e tecnologia dos poliuretanos*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2002.

Apêndice

APÊNDICE A

Propriedades térmicas do compósito de Poliuretano derivado do óleo da semente de mamona e fibras de pneus inservíveis

AMOSTRA (Corpo de Prova - CP)	MEDIÇÕES	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)		CAPACIDADE CALORÍFICA (E+6 J/m ³ K)		DIFUSIVIDADE TÉRMICA (E-6 m ² /s)	
CP0A	1	0,0303	0,0304	0,0640	0,0650	0,4700	0,4660
	2	0,0302		0,0640		0,4720	
	3	0,0307		0,0670		0,4560	
CP0B	1	0,0303	0,0304	0,0630	0,0630	0,4790	0,4823
	2	0,0303		0,0630		0,4810	
	3	0,0305		0,0630		0,4870	
CP0C	1	0,0299	0,0298	0,0620	0,0623	0,4800	0,4780
	2	0,0300		0,0620		0,4810	
	3	0,0296		0,0630		0,4730	
CP5A	1	0,0325	0,0325	0,0850	0,0843	0,3830	0,3847
	2	0,0324		0,0840		0,3840	
	3	0,0325		0,0840		0,3870	
CP5B	1	0,0320	0,0319	0,0790	0,0787	0,4050	0,4060
	2	0,0320		0,0790		0,4050	
	3	0,0318		0,0780		0,4080	
CP5C	1	0,0325	0,0327	0,0810	0,0823	0,4000	0,3967
	2	0,0327		0,0820		0,3980	
	3	0,0329		0,0840		0,3920	
CP10A	1	0,0319	0,0319	0,0780	0,0783	0,4090	0,4080
	2	0,0318		0,0770		0,4130	
	3	0,0321		0,0800		0,4020	
CP10B	1	0,0320	0,0320	0,0790	0,0793	0,4040	0,4040
	2	0,0322		0,0810		0,3980	
	3	0,0319		0,0780		0,4100	
CP10C	1	0,0326	0,0327	0,0830	0,0833	0,3910	0,3917
	2	0,0328		0,0850		0,3870	
	3	0,0327		0,0820		0,3970	
CP15A	1	0,0324	0,0327	0,0820	0,0833	0,3970	0,3923
	2	0,0328		0,0840		0,3900	
	3	0,0329		0,0840		0,3900	
CP15B	1	0,0315	0,0315	0,0820	0,0813	0,3860	0,3870
	2	0,0314		0,0810		0,3880	
	3	0,0315		0,0810		0,3870	
CP15C	1	0,0316	0,0318	0,0790	0,0803	0,3990	0,3950
	2	0,0317		0,0800		0,3950	
	3	0,0320		0,0820		0,3910	
CP20A	1	0,0319	0,0321	0,0850	0,0870	0,3740	0,3700
	2	0,0322		0,0880		0,3670	
	3	0,0323		0,0880		0,3690	
CP20B	1	0,0325	0,0327	0,0850	0,0867	0,3820	0,3780
	2	0,0328		0,0870		0,3760	
	3	0,0329		0,0880		0,3760	
CP20C	1	0,0330	0,0329	0,0870	0,0863	0,3790	0,3817
	2	0,0329		0,0860		0,3840	
	3	0,0329		0,0860		0,3820	

APÊNDICE B

Propriedades térmicas do compósito de Poliuretano derivado do óleo da semente de mamona e fibras de pneus inservíveis tratadas superficialmente com NaOH

AMOSTRA (Corpo de Prova - CP)	MEDIÇÕES	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/mK)		CAPACIDADE CALORÍFICA (E+6 J/m ³ K)		DIFUSIVIDADE TÉRMICA (E-6 m ² /s)	
CP0A	1	0,0303	0,0304	0,0640	0,0650	0,4700	0,4660
	2	0,0302		0,0640		0,4720	
	3	0,0307		0,0670		0,4560	
CP0B	1	0,0303	0,0304	0,0630	0,0630	0,4790	0,4823
	2	0,0303		0,0630		0,4810	
	3	0,0305		0,0630		0,4870	
CP0C	1	0,0299	0,0298	0,0620	0,0623	0,4800	0,4780
	2	0,0300		0,0620		0,4810	
	3	0,0296		0,0630		0,4730	
CPT5A	1	0,0309	0,0310	0,0720	0,0737	0,4290	0,4233
	2	0,0310		0,0740		0,4220	
	3	0,0312		0,0750		0,4190	
CPT5B	1	0,0312	0,0315	0,0710	0,0727	0,4420	0,4343
	2	0,0316		0,0730		0,4320	
	3	0,0318		0,0740		0,4290	
CPT5C	1	0,0320	0,0319	0,0820	0,0817	0,3920	0,3913
	2	0,0317		0,0800		0,3960	
	3	0,0321		0,0830		0,3860	
CPT10A	1	0,0327	0,0328	0,0870	0,0873	0,3750	0,3737
	2	0,0326		0,0860		0,3770	
	3	0,0330		0,0890		0,3690	
CPT10B	1	0,0339	0,0340	0,0930	0,0940	0,3640	0,3620
	2	0,0340		0,0940		0,3630	
	3	0,0341		0,0950		0,3590	
CPT10C	1	0,0347	0,0349	0,0970	0,0987	0,3580	0,3547
	2	0,0350		0,1000		0,3510	
	3	0,0350		0,0990		0,3550	
CPT15A	1	0,0324	0,0325	0,0830	0,0843	0,3920	0,3857
	2	0,0323		0,0850		0,3830	
	3	0,0327		0,0850		0,3820	
CPT15B	1	0,0330	0,0331	0,0940	0,0940	0,3500	0,3517
	2	0,0331		0,0940		0,3520	
	3	0,0332		0,0940		0,3530	
CPT15C	1	0,0353	0,0355	0,0920	0,0940	0,3850	0,3790
	2	0,0356		0,0950		0,3760	
	3	0,0357		0,0950		0,3760	
CPT20A	1	0,0365	0,0366	0,1210	0,1227	0,3010	0,2983
	2	0,0366		0,1230		0,2980	
	3	0,0366		0,1240		0,2960	
CPT20B	1	0,0377	0,0376	0,1350	0,1337	0,2810	0,2820
	2	0,0376		0,1330		0,2830	
	3	0,0375		0,1330		0,2820	
CPT20C	1	0,0373	0,0376	0,1250	0,1270	0,2990	0,2957
	2	0,0377		0,1280		0,2940	
	3	0,0377		0,1280		0,2940	

APÊNDICE C

Cálculo da incerteza das propriedades térmicas do compósito de Poliuretano derivado do óleo da semente de mamona e fibras de pneus inservíveis, para um nível de confiabilidade de 95%

k (condutividade térmica) - (W/m.K)						
CP'S	1	2	3	Média	S (k)	Incerteza
0%	0,0304	0,0304	0,0298	0,0302	0,0003	± 0,0004
5%	0,0325	0,0319	0,0327	0,0324	0,0004	± 0,0005
10%	0,0319	0,0320	0,0327	0,0322	0,0004	± 0,0005
15%	0,0327	0,0315	0,0318	0,0320	0,0006	± 0,0007
20%	0,0321	0,0327	0,0329	0,0326	0,0004	± 0,0005

a (difusividade térmica) - E-6(m²/s)						
CP'S	1	2	3	Média	S (a)	Incerteza
0%	0,4660	0,4823	0,4780	0,4754	0,0084	± 0,0096
5%	0,3847	0,4060	0,3967	0,3958	0,0107	± 0,0121
10%	0,4080	0,4040	0,3917	0,4012	0,0085	± 0,0096
15%	0,3923	0,3870	0,3950	0,3914	0,0041	± 0,0046
20%	0,3700	0,3780	0,3817	0,3766	0,0060	± 0,0068

C (capacidade calorífica) - E+6(J/m³.K)						
CP'S	1	2	3	Média	S (C)	Incerteza
0%	0,0650	0,0630	0,0623	0,0634	0,0014	± 0,0016
5%	0,0843	0,0787	0,0823	0,0818	0,0028	± 0,0032
10%	0,0783	0,0793	0,0833	0,0803	0,0026	± 0,0030
15%	0,0833	0,0813	0,0803	0,0816	0,0015	± 0,0017
20%	0,0870	0,0867	0,0863	0,0867	0,0004	± 0,0004

APÊNDICE D

Cálculo da incerteza das propriedades térmicas do compósito de Poliuretano derivado do óleo da semente de mamona e fibras de pneus inservíveis tratadas superficialmente com NaOH, para um nível de confiabilidade de 95%

k (condutividade térmica) - (W/m.K)						
CP'S	1	2	3	Média	S (k)	Incerteza
0%	0,0304	0,0304	0,0298	0,0302	0,0003	± 0,0004
5%	0,0310	0,0315	0,0319	0,0315	0,0005	± 0,0005
10%	0,0328	0,0340	0,0349	0,0339	0,0011	± 0,0012
15%	0,0325	0,0331	0,0355	0,0337	0,0016	± 0,0018
20%	0,0366	0,0376	0,0376	0,0373	0,0006	± 0,0007

a (difusividade térmica) - E-6(m²/s)						
CP'S	1	2	3	Média	S (a)	Incerteza
0%	0,4660	0,4823	0,4780	0,4754	0,0084	± 0,0096
5%	0,4233	0,4343	0,3913	0,4163	0,0223	± 0,0253
10%	0,3737	0,3620	0,3547	0,3635	0,0096	± 0,0108
15%	0,3857	0,3517	0,3790	0,3721	0,0180	± 0,0204
20%	0,2983	0,2820	0,2957	0,2920	0,0088	± 0,0099

C (capacidade calorífica) - E+6(J/m³.K)						
CP'S	1	2	3	Média	S (C)	Incerteza
0%	0,0650	0,0630	0,0623	0,0634	0,0014	± 0,0016
5%	0,0737	0,0727	0,0817	0,0760	0,0049	± 0,0056
10%	0,0873	0,0940	0,0987	0,0933	0,0057	± 0,0065
15%	0,0843	0,0940	0,0940	0,0908	0,0056	± 0,0063
20%	0,1227	0,1337	0,1270	0,1278	0,0055	± 0,0063

APÊNDICE E

Coeficientes de absorção sonora do poliuretano de mamona nas frequências de 100Hz a 1000Hz

Frequência [Hz]	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MÉDIA FINAL
	CP0A1	CP0A2	CP0A3	CP0A	CP0B1	CP0B2	CP0B3	CP0B	CP0
100	0,009	0,013	0,007	0,010	0,013	0,008	0,011	0,011	0,010
148	0,024	0,026	0,022	0,024	0,018	0,015	0,016	0,016	0,020
151	0,025	0,026	0,023	0,025	0,018	0,015	0,016	0,017	0,021
199	0,035	0,035	0,035	0,035	0,022	0,020	0,020	0,021	0,028
202	0,036	0,035	0,035	0,035	0,022	0,020	0,020	0,021	0,028
248	0,042	0,041	0,042	0,042	0,024	0,024	0,023	0,024	0,033
250	0,043	0,041	0,042	0,042	0,024	0,024	0,023	0,024	0,033
299	0,046	0,045	0,046	0,046	0,026	0,025	0,025	0,025	0,035
301	0,046	0,045	0,046	0,046	0,026	0,025	0,025	0,025	0,035
350	0,046	0,045	0,046	0,046	0,026	0,025	0,025	0,025	0,036
398	0,045	0,044	0,045	0,044	0,026	0,025	0,025	0,025	0,035
401	0,044	0,044	0,044	0,044	0,026	0,025	0,025	0,025	0,035
450	0,042	0,042	0,042	0,042	0,026	0,025	0,025	0,026	0,034
498	0,040	0,041	0,040	0,040	0,027	0,027	0,027	0,027	0,034
501	0,040	0,040	0,040	0,040	0,028	0,027	0,027	0,027	0,034
549	0,039	0,039	0,038	0,039	0,029	0,028	0,029	0,029	0,034
552	0,039	0,039	0,038	0,039	0,029	0,029	0,029	0,029	0,034
600	0,036	0,036	0,035	0,036	0,028	0,028	0,029	0,028	0,032
651	0,030	0,030	0,030	0,030	0,024	0,025	0,025	0,025	0,028
700	0,023	0,023	0,024	0,023	0,018	0,020	0,018	0,019	0,021
751	0,014	0,014	0,017	0,015	0,012	0,013	0,010	0,012	0,013
799	0,010	0,009	0,013	0,011	0,009	0,010	0,005	0,008	0,009
802	0,010	0,009	0,013	0,010	0,009	0,010	0,004	0,008	0,009
851	0,011	0,009	0,013	0,011	0,011	0,012	0,005	0,010	0,010
899	0,018	0,015	0,018	0,017	0,019	0,019	0,014	0,017	0,017
902	0,018	0,016	0,019	0,018	0,019	0,019	0,014	0,018	0,018
950	0,031	0,029	0,030	0,030	0,032	0,032	0,030	0,031	0,031
999	0,049	0,048	0,048	0,048	0,051	0,051	0,052	0,051	0,050
1001	0,050	0,049	0,049	0,049	0,052	0,052	0,054	0,053	0,051

APÊNDICE F

Coeficientes de absorção sonora do compósito de poliuretano de mamona e 5% de fibras de pneus, nas frequências de 100 Hz a 1000 Hz

Frequência [Hz]	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MÉDIA FINAL
	CP5A1	CP5A2	CP5A3	CP5A	CP5B1	CP5B2	CP5B3	CP5B	CP5
100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,002	0,001
148	0,017	0,015	0,015	0,016	0,016	0,020	0,014	0,017	0,016
151	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,020	0,015	0,017	0,017
199	0,042	0,040	0,041	0,041	0,030	0,031	0,030	0,030	0,036
202	0,043	0,042	0,042	0,042	0,031	0,032	0,031	0,031	0,037
248	0,061	0,061	0,061	0,061	0,040	0,042	0,041	0,041	0,051
250	0,062	0,062	0,062	0,062	0,040	0,042	0,042	0,041	0,052
299	0,077	0,077	0,077	0,077	0,048	0,049	0,049	0,049	0,063
301	0,078	0,078	0,078	0,078	0,048	0,050	0,049	0,049	0,063
350	0,087	0,087	0,087	0,087	0,051	0,053	0,053	0,052	0,070
398	0,090	0,090	0,091	0,090	0,051	0,052	0,052	0,052	0,071
401	0,090	0,090	0,091	0,090	0,051	0,052	0,052	0,052	0,071
450	0,088	0,088	0,089	0,088	0,050	0,050	0,050	0,050	0,069
498	0,082	0,082	0,083	0,083	0,049	0,049	0,049	0,049	0,066
501	0,082	0,082	0,083	0,082	0,049	0,048	0,048	0,048	0,065
549	0,074	0,074	0,074	0,074	0,048	0,048	0,048	0,048	0,061
552	0,073	0,073	0,074	0,073	0,048	0,048	0,048	0,048	0,061
600	0,064	0,063	0,064	0,063	0,047	0,048	0,047	0,047	0,055
651	0,052	0,051	0,051	0,051	0,045	0,045	0,045	0,045	0,048
700	0,039	0,040	0,039	0,039	0,042	0,041	0,042	0,041	0,040
751	0,027	0,028	0,026	0,027	0,039	0,035	0,037	0,037	0,032
799	0,019	0,020	0,017	0,019	0,038	0,031	0,035	0,035	0,027
802	0,018	0,019	0,017	0,018	0,038	0,031	0,035	0,035	0,027
851	0,015	0,015	0,013	0,014	0,042	0,032	0,037	0,037	0,026
899	0,018	0,016	0,014	0,016	0,050	0,039	0,044	0,044	0,030
902	0,018	0,016	0,015	0,016	0,051	0,040	0,044	0,045	0,031
950	0,028	0,023	0,024	0,025	0,064	0,053	0,057	0,058	0,041
999	0,043	0,038	0,041	0,041	0,081	0,073	0,075	0,076	0,059
1001	0,044	0,039	0,042	0,042	0,082	0,074	0,077	0,078	0,060

APÊNDICE G

Coeficientes de absorção sonora do compósito de poliuretano de mamona e 10% de fibras de pneus, nas frequências de 100 Hz a 1000 Hz

Frequência [Hz]	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MÉDIA FINAL
	CP10A1	CP10A2	CP10A3	CP10A	CP10B1	CP10B2	CP10B3	CP10B	CP10
100	0,006	0,006	0,009	0,007	0,000	0,001	0,000	0,000	0,004
148	0,019	0,020	0,019	0,019	0,007	0,013	0,008	0,009	0,014
151	0,020	0,021	0,020	0,020	0,008	0,014	0,009	0,010	0,015
199	0,029	0,030	0,028	0,029	0,025	0,025	0,023	0,024	0,027
202	0,030	0,031	0,029	0,030	0,025	0,025	0,024	0,025	0,027
248	0,035	0,036	0,034	0,035	0,038	0,036	0,036	0,037	0,036
250	0,035	0,036	0,034	0,035	0,038	0,037	0,037	0,037	0,036
299	0,038	0,038	0,037	0,038	0,049	0,048	0,048	0,048	0,043
301	0,038	0,038	0,037	0,038	0,049	0,049	0,049	0,049	0,043
350	0,037	0,037	0,036	0,037	0,058	0,058	0,058	0,058	0,048
398	0,035	0,035	0,034	0,035	0,066	0,066	0,066	0,066	0,050
401	0,035	0,035	0,034	0,035	0,066	0,067	0,066	0,066	0,051
450	0,033	0,033	0,033	0,033	0,073	0,073	0,073	0,073	0,053
498	0,032	0,032	0,032	0,032	0,078	0,078	0,078	0,078	0,055
501	0,032	0,032	0,032	0,032	0,078	0,078	0,078	0,078	0,055
549	0,033	0,033	0,033	0,033	0,080	0,080	0,080	0,080	0,057
552	0,033	0,033	0,033	0,033	0,080	0,080	0,080	0,080	0,057
600	0,034	0,034	0,034	0,034	0,077	0,078	0,078	0,078	0,056
651	0,032	0,033	0,032	0,033	0,070	0,071	0,070	0,070	0,051
700	0,030	0,030	0,029	0,030	0,061	0,061	0,061	0,061	0,045
751	0,027	0,026	0,026	0,027	0,050	0,050	0,050	0,050	0,038
799	0,028	0,025	0,026	0,026	0,042	0,042	0,041	0,042	0,034
802	0,028	0,025	0,026	0,027	0,042	0,042	0,041	0,041	0,034
851	0,033	0,030	0,031	0,031	0,039	0,038	0,037	0,038	0,035
899	0,043	0,041	0,042	0,042	0,041	0,040	0,039	0,040	0,041
902	0,044	0,042	0,043	0,043	0,041	0,041	0,039	0,040	0,042
950	0,059	0,060	0,060	0,060	0,050	0,049	0,048	0,049	0,054
999	0,083	0,085	0,085	0,084	0,065	0,063	0,063	0,064	0,074
1001	0,085	0,087	0,086	0,086	0,066	0,064	0,064	0,065	0,075

APÊNDICE H

Coeficientes de absorção sonora do compósito de poliuretano de mamona e 15% de fibras de pneus, nas frequências de 100 Hz a 1000 Hz

Frequência [Hz]	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MÉDIA FINAL
	CP15A1	CP15A2	CP15A3	CP15A	CP15B1	CP15B2	CP15B3	CP15B	CP15
100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
148	0,004	0,003	0,006	0,004	0,009	0,003	0,005	0,006	0,005
151	0,005	0,004	0,007	0,005	0,010	0,004	0,006	0,007	0,006
199	0,021	0,018	0,023	0,021	0,022	0,019	0,019	0,020	0,021
202	0,022	0,019	0,024	0,022	0,023	0,020	0,020	0,021	0,022
248	0,035	0,032	0,036	0,034	0,035	0,034	0,033	0,034	0,034
250	0,035	0,033	0,037	0,035	0,036	0,035	0,034	0,035	0,035
299	0,046	0,045	0,047	0,046	0,048	0,047	0,047	0,048	0,047
301	0,047	0,045	0,047	0,046	0,049	0,048	0,048	0,048	0,047
350	0,056	0,055	0,056	0,056	0,059	0,058	0,059	0,059	0,057
398	0,064	0,064	0,064	0,064	0,066	0,066	0,067	0,066	0,065
401	0,064	0,064	0,064	0,064	0,067	0,067	0,067	0,067	0,065
450	0,070	0,070	0,070	0,070	0,071	0,072	0,072	0,072	0,071
498	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,074	0,073	0,073	0,073
501	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
549	0,073	0,073	0,073	0,073	0,070	0,071	0,070	0,070	0,072
552	0,073	0,073	0,073	0,073	0,070	0,070	0,070	0,070	0,072
600	0,071	0,070	0,070	0,070	0,063	0,063	0,063	0,063	0,067
651	0,066	0,065	0,065	0,066	0,053	0,054	0,054	0,054	0,060
700	0,062	0,062	0,061	0,062	0,045	0,047	0,047	0,046	0,054
751	0,060	0,062	0,060	0,061	0,042	0,044	0,043	0,043	0,052
799	0,063	0,066	0,063	0,064	0,047	0,048	0,048	0,048	0,056
802	0,063	0,067	0,063	0,064	0,047	0,049	0,048	0,048	0,056
851	0,071	0,075	0,072	0,072	0,063	0,063	0,062	0,063	0,068
899	0,084	0,088	0,086	0,086	0,089	0,089	0,087	0,088	0,087
902	0,085	0,089	0,087	0,087	0,090	0,090	0,089	0,090	0,088
950	0,105	0,107	0,107	0,106	0,128	0,127	0,125	0,126	0,116
999	0,132	0,133	0,133	0,133	0,175	0,174	0,172	0,174	0,153
1001	0,133	0,135	0,135	0,134	0,178	0,177	0,175	0,177	0,156

APÊNDICE I

Coeficientes de absorção sonora do compósito de poliuretano de mamona e 20% de fibras de pneus, nas frequências de 100 Hz a 1000 Hz

Frequência [Hz]	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MEDIÇÕES			MÉDIA PARCIAL	MÉDIA FINAL
	CP20A1	CP20A2	CP20A3	CP20A	CP20B1	CP20B2	CP20B3	CP20B	CP20
100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001
148	0,007	0,000	0,002	0,003	0,006	0,005	0,007	0,006	0,005
151	0,008	0,002	0,003	0,004	0,007	0,005	0,008	0,007	0,006
199	0,032	0,029	0,028	0,030	0,013	0,011	0,012	0,012	0,021
202	0,033	0,030	0,030	0,031	0,013	0,011	0,012	0,012	0,022
248	0,053	0,051	0,051	0,052	0,017	0,015	0,016	0,016	0,034
250	0,054	0,052	0,052	0,053	0,017	0,015	0,016	0,016	0,034
299	0,070	0,069	0,069	0,069	0,019	0,018	0,019	0,019	0,044
301	0,070	0,070	0,070	0,070	0,019	0,018	0,019	0,019	0,044
350	0,078	0,078	0,079	0,079	0,020	0,019	0,020	0,019	0,049
398	0,079	0,079	0,079	0,079	0,020	0,019	0,020	0,020	0,049
401	0,078	0,079	0,079	0,079	0,020	0,019	0,020	0,020	0,049
450	0,072	0,072	0,072	0,072	0,021	0,020	0,020	0,020	0,046
498	0,060	0,061	0,060	0,060	0,022	0,022	0,022	0,022	0,041
501	0,060	0,060	0,060	0,060	0,022	0,022	0,022	0,022	0,041
549	0,046	0,047	0,047	0,047	0,024	0,023	0,023	0,023	0,035
552	0,046	0,046	0,046	0,046	0,024	0,023	0,023	0,023	0,035
600	0,034	0,034	0,035	0,034	0,024	0,023	0,023	0,023	0,029
651	0,024	0,025	0,025	0,025	0,020	0,019	0,019	0,019	0,022
700	0,020	0,019	0,019	0,020	0,014	0,013	0,013	0,013	0,016
751	0,021	0,019	0,018	0,019	0,006	0,005	0,005	0,005	0,012
799	0,028	0,023	0,021	0,024	0,002	0,000	0,000	0,001	0,012
802	0,028	0,023	0,021	0,024	0,002	0,000	0,000	0,001	0,012
851	0,039	0,032	0,030	0,034	0,002	0,000	0,000	0,001	0,017
899	0,054	0,046	0,044	0,048	0,007	0,001	0,002	0,003	0,026
902	0,055	0,047	0,045	0,049	0,007	0,001	0,002	0,003	0,026
950	0,075	0,068	0,066	0,069	0,018	0,010	0,013	0,013	0,041
999	0,101	0,097	0,095	0,098	0,034	0,026	0,030	0,030	0,064
1001	0,103	0,098	0,097	0,100	0,035	0,027	0,031	0,031	0,065

APÊNDICE J

Coeficientes de absorção sonora do poliuretano de petróleo, das lãs de vidro e de rocha, nas frequências de 100 Hz a 1000 Hz

Frequência [Hz]	α	α	α
	CPP	CPLV	CPLR
100	0,073	0,00	0,03
148	0,104	0,00	0,07
151	0,105	0,01	0,07
199	0,124	0,03	0,10
202	0,124	0,03	0,11
248	0,132	0,05	0,12
250	0,132	0,05	0,12
299	0,134	0,06	0,14
301	0,134	0,06	0,14
350	0,133	0,07	0,15
398	0,133	0,09	0,16
401	0,133	0,09	0,16
450	0,136	0,11	0,18
498	0,140	0,13	0,19
501	0,140	0,13	0,19
549	0,143	0,16	0,21
552	0,143	0,16	0,21
600	0,143	0,18	0,22
651	0,140	0,20	0,24
700	0,138	0,22	0,25
751	0,140	0,24	0,27
799	0,147	0,26	0,29
802	0,148	0,26	0,29
851	0,161	0,29	0,31
899	0,179	0,32	0,34
902	0,180	0,33	0,34
950	0,201	0,36	0,36
999	0,223	0,40	0,39
1001	0,224	0,40	0,39

APÊNDICE K

Medições de massa, largura, comprimento e profundidade dos corpos de prova do poliuretano de mamona e do compósito de poliuretano de mamona e raspas de pneus nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20%, utilizando fibras de pneus tratados e não tratados

CORPOS DE PROVA	MASSA (g)	MEDIÇÕES LARGURA			MÉDIA L (cm)	MEDIÇÕES COMPRIMENTO			MÉDIA C (cm)	MEDIÇÕES PROFUNDIDADE			MÉDIA P (cm)
		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
CP0A	1,12	3,04	3,08	3,02	3,05	3,02	3,02	3,03	3,02	3,03	3,03	3,03	3,03
CP0B	1,10	3,00	3,02	3,05	3,02	3,00	3,07	3,05	3,04	3,04	3,06	3,03	3,04
CP0C	1,10	3,06	3,11	3,07	3,08	2,93	2,93	2,96	2,94	3,06	3,04	2,99	3,03
CPT5A	1,53	3,06	2,97	3,07	3,03	3,07	3,07	3,07	3,07	3,09	3,07	3,07	3,08
CPT5B	1,44	3,08	3,07	3,07	3,07	3,02	2,97	3,05	3,01	3,06	3,06	3,07	3,06
CPT5C	1,65	3,05	3,05	3,06	3,05	3,01	3,03	3,02	3,02	3,03	3,06	3,09	3,06
CPT10A	1,85	3,09	3,05	3,04	3,06	3,11	3,12	3,14	3,12	3,05	3,05	3,06	3,05
CPT10B	2,15	3,11	3,08	3,06	3,08	3,01	2,98	3,02	3,00	3,13	3,13	3,14	3,13
CPT10C	2,22	3,05	3,06	3,08	3,06	3,04	3,06	3,07	3,06	3,02	3,03	3,04	3,03
CPT15A	1,89	3,07	3,07	3,07	3,07	3,14	3,14	3,14	3,14	3,08	3,06	3,08	3,07
CPT15B	2,21	3,05	3,05	3,05	3,05	3,07	3,05	3,04	3,05	3,13	3,05	3,11	3,10
CPT15C	2,29	3,03	3,06	3,03	3,04	3,03	3,01	3,01	3,02	3,06	3,09	3,06	3,07
CPT20A	2,70	3,08	3,06	3,07	3,07	3,08	3,05	3,08	3,07	3,06	3,08	3,08	3,07
CPT20B	2,71	3,01	3,06	3,03	3,03	3,07	3,09	3,08	3,08	3,11	3,17	3,12	3,13
CPT20C	3,17	3,06	3,09	3,07	3,07	3,06	3,08	3,08	3,07	3,08	3,09	3,07	3,08
CP5A	1,40	3,01	3,04	3,03	3,03	3,03	3,01	3,04	3,03	2,99	2,98	3,02	3,00
CP5B	1,37	2,97	3,01	3,03	3,00	2,94	3,01	3,03	2,99	2,97	3,03	3,03	3,01
CP5C	1,37	2,97	2,94	2,96	2,96	2,96	3,01	3,03	3,00	2,95	2,95	3,01	2,97
CP10A	1,45	3,03	2,99	2,95	2,99	3,05	3,07	3,05	3,06	2,94	2,95	2,94	2,94
CP10B	1,49	3,03	2,98	3,02	3,01	2,91	2,92	2,93	2,92	3,01	3,01	3,04	3,02
CP10C	1,73	3,06	3,08	3,08	3,07	3,11	3,11	3,08	3,10	3,06	3,06	3,06	3,06
CP15A	1,56	3,04	3,08	3,06	3,06	3,01	3,01	2,95	2,99	2,92	2,99	3,03	2,98
CP15B	1,54	3,07	3,09	3,13	3,10	3,03	3,01	3,02	3,02	3,03	3,02	3,04	3,03
CP15C	1,31	2,77	2,81	2,77	2,78	3,05	3,05	3,03	3,04	3,05	3,06	3,02	3,04
CP20A	1,63	3,05	3,07	3,11	3,08	3,04	3,03	3,02	3,03	3,02	3,05	3,05	3,04
CP20B	1,60	3,04	3,03	3,04	3,04	2,98	3,03	2,96	2,99	2,94	2,98	2,98	2,97
CP20C	1,69	3,02	3,05	3,07	3,05	3,04	3,02	3,01	3,02	3,03	3,04	3,03	3,03

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)