

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS
COM MADEIRA DE EUCALIPTO E SÓLIDOS
GRANULARES DE POLIURETANO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Renata Rauber

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM
MADEIRA DE EUCALIPTO E SÓLIDOS GRANULARES DE
POLIURETANO**

Renata Rauber

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein

**Santa Maria, RS, Brasil
2011**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM MADEIRA
DE EUCALIPTO E SÓLIDOS GRANULARES DE POLIURETANO**

elaborada por
Renata Rauber

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Clovis Roberto Haselein, Dr.
(Presidente/Orientador)

Mara Zeni Andrade, Dra. (UCS)

Maria Fernanda de Oliveira Nunes, Dra. (UCS)

Santa Maria, 09 de dezembro de 2011.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização deste trabalho;

Ao órgão financiador CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao meu orientador, professor Dr. Clovis R. Haselein, pela orientação, amizade e conhecimentos, e também pela compreensão e confiança quando da minha saída de Santa Maria;

À professora Dra. Mara Zeni Andrade, da Universidade de Caxias do Sul (UCS), sem a qual este trabalho não seria possível, pela imensa hospitalidade, imensurável auxílio, conhecimentos transmitidos, enfim... por tudo;

À professora Dra. Ana Maria C. Grisa, da UCS, por todo auxílio e constante disponibilidade;

À professora Dra. Maria Fernanda de Oliveira Nunes, da UCS, pelo incansável auxílio durante a execução dos ensaios acústicos, e por fazer parte da comissão examinadora;

Ao professor Elio José Santini, da UFSM, pela coorientação e auxílio;

À Fabiana Ratzlaff, Tarso Michelotti e Nelson Castro, funcionários do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, pelo auxílio na elaboração inicial deste trabalho;

A todos os colegas de Mestrado e do Laboratório de Produtos Florestais da UFSM, pela convivência;

À Cerlene Machado (Tita), secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM, pelo auxílio durante o Mestrado;

Aos alunos do Laboratório de Pesquisa em Química dos Materiais da UCS, Wilian B. Ribeiro, Marcos V. Rizzo e Cristina Balicco, pelo indispensável auxílio prestado durante a execução deste trabalho;

À aluna do curso de Arquitetura e Urbanismo e bolsista do Laboratório de Conforto Ambiental da UCS, Brena Ferathy, pelo auxílio durante a execução dos ensaios acústicos;

À Jocelei Duarte, funcionária do Laboratório de Pesquisa em Química dos Materiais da UCS, pela ajuda constante;

Ao funcionário da gráfica da UCS, Élbio, pelo empréstimo da prensa;

Aos funcionários da UCS, Tarcísio e Júlio, pelo auxílio na confecção dos corpos-de-prova;

À empresa Perfilisa, pela moagem dos solados de poliuretano;

Ao Laboratório de Polímeros da UCS, pelo auxílio na execução dos ensaios de impacto;

À Engenheira Florestal Karina S. Modes, pela disponibilidade da madeira de eucalipto;

Aos Engenheiros Florestais Rafael Beltrame e Darci A. Gatto, pela tentativa de realização dos ensaios de MOR e MOE;

Aos funcionários da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Caxias do Sul, pelo apoio proporcionado durante a execução deste trabalho;

À minha família, pelo amor incondicional e incansável apoio, mesmo à distância, desde a Graduação;

Ao meu namorado Renato S. Cezar, companheiro de todos os momentos, pelo amor e compreensão a mim dedicados durante todos esses anos;

À Antônia, minha companheirinha;

À Ediane A. Buligon, querida amiga e colega, por sua amizade, carinho, auxílio constante durante a Graduação e o Mestrado, e pelo exemplo de determinação e força de vontade;

À Maria Luiza Favassa, pela amizade de tantos anos e, é claro, pelas agradáveis estadias em Santa Maria;

A todas as pessoas aqui não mencionadas que contribuíram para este trabalho...

Agradeço!

*"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original".
(Albert Einstein)*

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM MADEIRA DE EUCALIPTO E SÓLIDOS GRANULARES DE POLIURETANO

AUTORA: RENATA RAUBER

ORIENTADOR: PROF. DR. CLÓVIS ROBERTO HASELEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 09 de dezembro de 2011.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e sólidos granulares de poliuretano provenientes do setor calçadista do município de Três Coroas/RS, utilizando como agente aglomerante 20 partes de Elastan 8004/BR[®], um pré-polímero de poliisocianato modificado baseado no MDI. As proporções entre sólidos granulares de poliuretano e partículas de madeira empregadas foram 0/100, 15/85, 30/70, 45/55 e 60/40% (m/m). O desempenho dos painéis foi avaliado através da determinação da massa específica, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, resistência à tração perpendicular à superfície, dureza Janka, resistência ao arrancamento de parafusos, resistência ao impacto IZOD, condutividade térmica e desempenho acústico em relação ao ruído aéreo. O acréscimo de poliuretano ocasionou aumento na estabilidade dimensional dos painéis, diminuindo os valores de absorção de água e inchamento em espessura dos mesmos. A resistência à tração perpendicular à superfície dos painéis aumentou significativamente com o aumento da quantidade de poliuretano em sua composição, indicando a qualidade da adesão entre as partículas de madeira e sólidos granulares de poliuretano e o adesivo utilizado. A dureza Janka foi influenciada de maneira negativa, verificando-se diminuição em seus valores à medida que aumentou a quantidade de poliuretano na composição dos painéis. Os maiores valores de resistência ao arrancamento de parafusos foram encontrados utilizando-se 30 e 45% (m/m) de poliuretano. A resistência dos painéis ao impacto IZOD aumentou com a incorporação de sólidos granulares de poliuretano, sendo necessária maior quantidade de energia para o rompimento dos mesmos. A adição de sólidos granulares de poliuretano proporcionou decréscimo nos valores de condutividade térmica dos painéis e afetou de maneira positiva o desempenho acústico dos mesmos.

Palavras-chave: painéis aglomerados; sólidos granulares de poliuretano; propriedades físico-mecânicas; condutividade térmica; desempenho acústico.

ABSTRACT

Master's Thesis

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Universidade Federal de Santa Maria

CHARACTERIZATION OF PARTICLEBOARDS WITH EUCALYPT WOOD AND POLYURETHANE GRANULAR SOLIDS

AUTHOR: RENATA RAUBER

ADVISER: PROF. DR. CLÓVIS ROBERTO HASELEIN

Defense Date and Place: Santa Maria, December 9th 2011.

The objective of the present study was to evaluate the performance of particleboards fabricated with different proportions of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood and polyurethane granular solids from the footwear sector of Três Coroas/RS city, using as a binding agent Elastan 8004/BR[®], a pre-polymer modified polyisocyanate MDI based. The proportions of polyurethane granular solids and wood particles used were 0/100, 15/85, 30/70, 45/55 e 60/40% (m/m). The performance of the panels was evaluated by density, moisture content, water absorption and thickness swelling at 2 and 24 hours, tensile strength perpendicular to surface, hardness testing, screw withdrawal, IZOD impact strength, thermal conductivity and acoustic performance in relation to airborne noise. Polyurethane addition caused an increase in dimensional stability of the panels, reducing the values of water absorption and thickness swelling. Tensile strength perpendicular to surface of the panels increased significantly with the increase of polyurethane amount in the composition, indicating adhesion quality between particles of panel and adhesive used. Hardness testing was negatively influenced, indicating that the values decreased with the increasing of polyurethane amount. The highest values of screw withdrawal were found using 30 and 45% (m/m) of polyurethane. The IZOD impact strength of the panels increased with the polyurethane granular solids incorporation in its composition, requiring more energy to break them. The addition of t polyurethane provided a decrease in the values of thermal conductivity of the panels and affected the acoustic performance of the panels in a positive way.

Keywords: particleboards; polyurethane granular solids; physic-mechanical properties; thermal conductivity; acoustic performance.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condutividade térmica de diversos materiais de construção em função de sua massa específica	23
Tabela 2 – Componentes com resistência térmica igual a $0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C W}^{-1}$, correspondente a um centímetro de lã de vidro	25
Tabela 3 – Níveis de intensidade de ruído	27
Tabela 4 – Características físicas do Elastan 8004/BR [®]	34
Tabela 5 – Proporções entre sólidos granulares de poliuretano e partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis aglomerados.....	38
Tabela 6 – Dimensões das câmaras reverberantes reduzidas.....	47
Tabela 7 – Relação entre as dimensões das câmaras reverberantes	47
Tabela 8 – Teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano, a 20°C e 65% de umidade relativa do ar.....	53
Tabela 9 – Massa específica básica (Meb) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	55
Tabela 10 – Absorção de água dos painéis aglomerados após 2 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	57
Tabela 11 – Absorção de água dos painéis aglomerados após 24 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	57
Tabela 12 – Inchamento em espessura dos painéis aglomerados após 2 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	59
Tabela 13 – Inchamento em espessura dos painéis aglomerados após 24 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	59
Tabela 14 – Resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	61
Tabela 15 – Dureza Janka dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	63
Tabela 16 – Resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	64
Tabela 17 – Resistência ao impacto IZOD dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano	65
Tabela 18 – Condutividade térmica dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	67
Tabela 19 – Níveis sonoros medidos na câmara de recepção, na ausência e na presença dos painéis aglomerados no sistema de divisória.....	69
Tabela 20 – Diferenças verificadas entre o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória sem amostra e o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura intermediária de um uretano.....	19
Figura 2 – Reação de obtenção de um poliuretano.....	19
Figura 3 – Arranjos possíveis para o método fluximétrico utilizado na determinação da resistência térmica em regime estacionário.....	26
Figura 4 – Transmissão da energia acústica entre dois ambientes adjacentes.....	29
Figura 5 – Representação esquemática da energia incidente (E_i) em uma parede e as correspondentes energias transmitida (E_t), absorvida (E_a) e refletida (E_r).....	29
Figura 6 – Estrutura de materiais porosos e fibrosos.....	30
Figura 7 – Processo de obtenção das partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis: tábua de <i>E. grandis</i> (A); blocos de madeira após imersão em água (B); obtenção dos flocos (C); secagem dos flocos (D); processamento dos flocos em moinho de martelos (E); reprocessamento das partículas em moinho de facas (F); classificação das partículas (G); e partículas obtidas ao final do processo (H).....	33
Figura 8 – Processo de obtenção dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis: solado de poliuretano (A); processamento em moinho granulador (B); processamento em moinho de facas (C); seleção dos grânulos (D); e grânulos obtidos ao final do processo (E).....	35
Figura 9 – Confecção dos painéis: argamassadeira (A); incorporação do pré-polímero (B); adição de água (C); e disposição da mistura na caixa (D).....	37
Figura 10 – Prensagem dos painéis: prensa utilizada (A); e detalhe da prensagem (B).....	37
Figura 11 – Célula de carga utilizada na determinação da pressão aplicada durante a prensagem dos painéis.....	38
Figura 12 – Imersão das amostras em água (A); e determinação da espessura das amostras com auxílio de relógio comparador (B).....	41
Figura 13 – Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel, realizado de acordo com a norma NBR 14810-3 (2002): realização do ensaio (A); e detalhe da ruptura da amostra (B).....	42
Figura 14 – Ensaio de dureza Janka, realizado de acordo com a norma NBR 14810-3 (2002).....	43
Figura 15 – Ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso, realizado de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999).....	44
Figura 16 – Equipamento CEAST [®] utilizado no ensaio de resistência ao impacto IZOD.....	45
Figura 17 – Configuração assimétrica utilizada no ensaio de condutividade térmica dos painéis aglomerados.....	45
Figura 18 – Ensaio para determinação da condutividade térmica: amostra entre as placas de aquecimento e resfriamento (A); isolamento do sistema com manta de lã de vidro (B).....	46
Figura 19 – Esquema das minicâmaras reverberantes confeccionadas na Maqueteria do Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul e utilizadas nos ensaios.....	48
Figura 20 – Sistema de divisória: disposição das componentes do sistema (A); vista do sistema a partir da chapa de madeira com 20 mm de espessura (B); painel instalado na moldura de madeira (C); detalhe da vedação do painel na moldura (D).....	49
Figura 21 – Sistema câmara-divisória-câmara (A); e detalhe do sistema de vedação (B).....	50
Figura 22 – Equipamentos utilizados no ensaio de desempenho acústico dos painéis aglomerados: pré-amplificador (A); fonte sonora (B); e analisador sonoro (C).....	51
Figura 23 – Distribuição de frequência do tamanho médio das partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis aglomerados.....	52
Figura 24 – Distribuição de frequência do tamanho médio dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis aglomerados.....	53

Figura 25 – Valores observados e ajustados de teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	54
Figura 26 – Intervalo de confiança para as médias de massa específica básica (MEb) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	56
Figura 27 – Intervalo de confiança para as médias de absorção de água dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano: após 2 horas de imersão (A); e após 24 horas de imersão (B).....	58
Figura 28 – Intervalo de confiança para as médias de inchamento em espessura dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano: após 2 horas de imersão (A); e após 24 horas de imersão (B).....	60
Figura 29 – Valores observados e ajustados de resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	62
Figura 30 – Valores observados e ajustados de dureza Janka dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	63
Figura 31 – Intervalo de confiança para as médias de resistência ao impacto IZOD dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	66
Figura 32 – Valores observados e ajustados de condutividade térmica dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.....	68
Figura 33 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado unicamente com madeira.....	70
Figura 34 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 15% de poliuretano.....	70
Figura 35 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 30% de poliuretano.....	71
Figura 36 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 45% de poliuretano.....	72
Figura 37 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 60% de poliuretano.....	72
Figura 38 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados.....	73
Figura 39 – Diferenças verificadas entre o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória sem amostra e o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	Painéis de Madeira Aglomerada.....	15
2.2	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden.....	17
2.3	Poliuretano.....	18
2.3.1	Resíduos de Poliuretano.....	20
2.4	Caracterização de Painéis à Base de Madeira.....	22
2.5	Isolamento Térmico.....	22
2.6	Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	Obtenção e Preparo da Matéria-Prima.....	32
3.1.1	Partículas de Madeira.....	32
3.1.2	Sólidos Granulares de Poliuretano.....	34
3.1.3	Pré-Polímero.....	34
3.2	Produção dos Painéis Aglomerados.....	36
3.3	Tratamentos.....	38
3.4	Análises Estatísticas.....	39
3.5	Ensaio Realizados.....	39
3.5.1	Caracterização da Matéria-Prima.....	39
3.5.2	Massa Específica e Teor de Umidade de Equilíbrio (T _{Ueq}).....	39
3.5.3	Absorção de Água e Inchamento em Espessura.....	40
3.5.4	Resistência à Tração Perpendicular.....	41
3.5.5	Dureza Janka.....	43
3.5.6	Resistência ao Arrancamento de Parafuso na Superfície.....	43
3.5.7	Resistência ao Impacto IZOD.....	44
3.5.8	Condutividade Térmica.....	45
3.5.9	Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo.....	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1	Caracterização da Matéria-Prima.....	52
4.2	Teor de Umidade de Equilíbrio (T _{Ue}) e Massa Específica Básica (ME _b).....	53
4.3	Absorção de Água.....	56
4.4	Inchamento em Espessura.....	58
4.5	Resistência à Tração Perpendicular.....	60
4.6	Dureza Janka.....	62

4.7	Resistência ao Arrancamento de Parafuso na Superfície	64
4.8	Resistência ao Impacto IZOD	65
4.9	Condutividade Térmica	66
4.10	Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo	68
5	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

A madeira, por ser um recurso natural renovável, de versátil utilização e baixo consumo energético em sua produção, torna-se um material cada vez mais requisitado em uma época em que a preocupação com o ambiente é cada vez maior (LILGE, 2009). Segundo o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (2007), a madeira de pinus e eucalipto deverão ter seu consumo ampliado nos próximos anos, acompanhando o crescimento da indústria de base florestal. A modernização tecnológica deverá ensejar uma maior produtividade florestal e um melhor rendimento na transformação da matéria-prima. Para 2020, o consumo projetado de madeira industrial é superior a 280 milhões de metros cúbicos. Desse total, cerca de 49% será representado pela madeira de eucalipto.

De acordo com Macedo e Roque (2006), o setor de produtos florestais compreende, genericamente, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, painéis de madeira, pasta de madeira e papel. A partir desses insumos, formam-se diversas cadeias produtivas, com destaque para os setores de construção civil e moveleiro, com a participação de produtos de madeira serrada e diversos tipos de painéis de madeira.

A utilização de resíduos na produção de painéis de madeira tem sido objeto de pesquisa entre diversos autores, podendo-se citar o desenvolvimento de painéis aglomerados com adição de aparas de papel reciclável (CALEGARI et al., 2004); compósitos de partículas de madeira, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade obtidos a partir de plásticos reciclados comercialmente (MILAGRES, 2004); compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade, partículas de madeira e casca de arroz (PAULESKI, 2005); compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com resíduos de madeira e derivados das indústrias moveleiras (HILLIG, 2006); compósitos de serragem de madeira e resíduos da recauchutagem de pneus (MACEDO, 2008); painéis cimento-madeira com adição de casca de arroz (LILGE, 2009); e painéis aglomerados produzidos através da reciclagem de painéis *Oriented Strand Board* – OSB (SETUBAL, 2009).

As exigências legais e do público consumidor têm obrigado as empresas a adotarem posturas ecologicamente mais preservacionistas, provocando mudanças rápidas no foco das estratégias logísticas modernas (ANDRIGUETTO et al., 2011). De acordo com Massaroto et al. (2008), a reciclagem de resíduos na forma de materiais destinados às mais diversas aplicações tem sido uma alternativa à solução de vários problemas ambientais, através da diminuição do volume de resíduos e seus perigos de descarte e da diminuição da utilização de

recursos naturais cada vez mais escassos. De acordo com Naime e Robinson (2009), as características da indústria calçadista evidenciam a necessidade de segregar os resíduos sólidos resultantes de suas atividades, devido ao fato de estes materiais geralmente possuírem quantidade, tecnologia e preços que justificam sua separação para posterior reutilização ou reciclagem. Segundo Dariva et al. (2000), o lixo industrial oriundo da fabricação de calçados é bastante variável e sazonal, dependendo também das tendências da moda (DARIVA et al., 2000).

Dentre as matérias-primas utilizadas na indústria calçadista, tem-se o poliuretano, material que assume a forma de espumas flexíveis (palmilhas e dubladores), espumas rígidas (tacões e saltos) e adesivos (mono e bicomponentes), dentre outros, podendo assumir diversos formatos e aparências (TECNOLOGIA DOS MATERIAIS, 2011). Atualmente, os poliuretanos ocupam a sexta posição, com cerca de 5% do mercado dos plásticos mais vendidos no mundo, comprovando ser um dos produtos mais versáteis empregados pela indústria. Os maiores centros consumidores são América do Norte, Europa e o Continente Asiático (HERNÁNDEZ, 2007). De acordo com Libos (2007), o Brasil conta com uma produção média anual de aproximadamente 335 mil toneladas de poliuretano, a qual deverá aumentar para 441 mil toneladas em 2012. Como opções para a minimização dos resíduos de poliuretano, Freire (2011) recomenda a reutilização (uso do produto/material/resíduo mais de uma vez em sua forma original e para a mesma finalidade), recuperação (reaproveitamento dos resíduos ou de alguns de seus componentes como insumo para outros processos) ou a reciclagem (processo onde o resíduo é coletado, reprocessado ou remanufaturado).

Nesse contexto, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a qualidade de painéis aglomerados fabricados com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e sólidos granulares de poliuretano. Como objetivos específicos, destaca-se: (i) determinar as propriedades físico-mecânicas dos painéis; (ii) avaliar a influência da adição de sólidos granulares de poliuretano nos valores de condutividade térmica dos painéis; (iii) avaliar a influência da adição de sólidos granulares de poliuretano no desempenho acústico dos painéis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Painéis de Madeira Aglomerada

Os painéis de madeira aglomerada são compósitos confeccionados a partir de partículas de materiais lignocelulósicos, onde a madeira é a principal matéria-prima, com a adição de aglutinante (adesivo) e consolidação por meio da aplicação de calor e pressão (MELO, 2009). Segundo a norma NBR 14810-1 (2002), o painel de madeira aglomerada pode ser definido como um produto formado por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob ação de pressão e calor, com espessura que pode variar de 3 a 50 mm. De acordo com a norma, a geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos utilizados, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para obter produtos adequados aos usos finais específicos ou desejados.

A utilização de painéis aglomerados surgiu na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, diante das dificuldades de obtenção de madeira de boa qualidade para a produção de lâminas durante o período da Segunda Guerra Mundial. A produção dos painéis aglomerados foi paralisada em virtude da falta de resinas no mercado, tendo em vista a prioridade do uso do petróleo para fins militares. A partir da década de 60, houve uma grande expansão na produção, com novas instalações industriais e avanços tecnológicos. Em 1966, o Brasil iniciou a produção desse tipo de painel. Em 1967 foi criada a ABIMA – Associação Brasileira da Indústria da Madeira Aglomerada que, em 1994, transformou-se em ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira, incorporando as indústrias produtoras de chapas duras (DONATI, 2010). Como um produto novo no mercado brasileiro, os painéis aglomerados passaram por períodos de questionamentos, principalmente em relação a algumas de suas limitações técnicas, como alta absorção de água, inchamento em espessura, usinabilidade dos bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. A minimização desses problemas deu-se através da introdução de novas tecnologias em sua industrialização, como a adição de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes (IWAKIRI et al., 2005).

O processo de produção dos painéis de madeira aglomerada começa com a transformação da madeira em partículas, as quais são secas a um teor de umidade específico e classificadas em tamanhos adequados. Posteriormente, essas partículas são misturadas a uma

resina sintética, sendo depositadas em cinta transportadora, dando origem ao colchão. Esse colchão é prensado a espessura e densidade específicas, ocorrendo, simultaneamente, a cura da resina, em decorrência do calor e pressão aplicados pela prensa (PIERRE, 2010). De acordo com Haselein et al. (2001), os painéis podem ser comercializados “crus” ou revestidos, utilizando-se lâminas sintéticas, como *Finish Foil* (FF) e Baixa Pressão (PB), conferindo um melhor acabamento aos painéis sem a necessidade de custos adicionais na indústria moveleira. O FF caracteriza-se como uma película de papel colada à chapa, e PB é uma folha de papel impregnada com melamina, a qual é fundida à chapa através de pressão e calor. Segundo Roque e Valença (1998), as matérias-primas utilizadas na fabricação de painéis aglomerados compreendem várias espécies de madeira e também outros materiais lignocelulósicos. Dentre as principais matérias-primas utilizadas, podem-se citar os resíduos industriais de serrarias e fábricas de móveis, resíduos de exploração florestal, madeiras de qualidade inferior não industrializáveis de outra forma e madeira de florestas plantadas.

Em relação aos fatores que afetam as características finais dos painéis aglomerados, Maloney (1993) destaca: (i) fatores inerentes à madeira – espécie, densidade, teor de umidade, idade e forma do tronco, pH e extrativos; (ii) fatores relacionados ao processo de fabricação dos painéis – densidade do painel, teor de resina, teor de parafina, razão de compactação, composição do painel, teor de umidade das partículas, temperatura de prensagem, tamanho e orientação das partículas, pressão específica de prensagem e tempo de fechamento da prensa. Haselein et al. (2002) citam ainda a estrutura do painel, formada pela orientação das partículas, e a disposição das camadas durante sua fabricação.

Os painéis de madeira aglomerada possuem inúmeros usos, destacando-se a fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes e, de forma secundária, a construção civil (BERNARDI, 2006). Segundo Góes (2011), painéis de madeira aglomerada podem ser utilizados em pisos e estruturas leves, atuando como elemento estrutural de pequeno a médio porte em aplicações residenciais. Dentre as vantagens dos painéis aglomerados em relação à madeira serrada, Melo (2009) destaca a ampliação da superfície útil da madeira, através do aumento de sua largura, bem como a menor exigência na escolha das matérias-primas, maior homogeneidade ao longo das peças, redução da anisotropia e eliminação de defeitos, como nós, grã irregular e defeitos provenientes da secagem.

No Brasil, a indústria de painéis de madeira vem crescendo. Seguindo a tendência mundial, a indústria está se modernizando rapidamente, a fim de garantir a competitividade no mercado. Nos últimos anos foram investidos cerca de 1 bilhão de dólares em modernização,

ampliação e implantação de unidades industriais (BUAINAIN e BATALHA, 2007). De acordo com Mattos et al. (2008), a produção brasileira de painéis de madeira, em 2005, foi de 7,7 milhões de metros cúbicos, o que representa um aumento de 9,5% ao ano, desde 1995. Segundo os autores, esse mercado vem sofrendo diversas mudanças, em função da busca de alternativas à madeira maciça e da modernização tecnológica do parque fabril, o que proporcionou a oferta de novos produtos e melhoria da qualidade, fatores estes que deram forte impulso à construção civil e ao setor moveleiro. Macedo et al. (1997) destacam que a crescente valorização da madeira, principalmente no mercado internacional, induz o aproveitamento mais intenso e eficiente dos resíduos desse tipo de material, provocando, conseqüentemente, um crescimento acelerado da demanda dos produtos “engenheirados”, nos quais se incluem os painéis de madeira.

2.2 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O gênero *Eucalyptus* foi introduzido no Brasil em 1904, com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes das estradas de ferro da região Sudeste. Seu crescimento expressivo ocorreu nas décadas de 60, 70 e meados dos anos 80, devido, principalmente, aos incentivos fiscais da época (DOSSA et al., 2002). De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2011), no ano de 2010, a área plantada com eucalipto totalizou cerca de 4,7 milhões de hectares, concentrando-se, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste do país.

A espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ocorre naturalmente na Austrália, ao Norte do estado de New South Wales e nas regiões Central e Norte de Queensland, em locais com altitude variando desde o nível do mar até 600 metros, na área de maior ocorrência, e de 500 a 1.100 metros de altitude, nas áreas mais ao norte. A madeira é considerada medianamente leve, com cerne diferenciado, de fácil trabalhabilidade em operações de usinagem, sendo considerada de baixa estabilidade, porém de elevada permeabilidade (SILVA, 2001). Essa espécie deve ser plantada em regiões livres de geadas severas, sendo utilizada para fins energéticos, celulose de fibra curta, construção civil e serraria (FILHO, 2003). Possui fuste ereto e livre de nós em até dois terços de sua altura, com casca fina e decídua, desprendendo-se em tiras, expondo uma superfície lisa e marcada com padrões de coloração acinzentada ou verde-clara (MESKIMEN e FRANCIS, 2004).

A madeira de *E. grandis* pode ser considerada uma matéria-prima homogênea, com boa adequação às demandas tecnológicas da indústria moveleira, com possibilidades de produção regionalizada e substituição de espécies nativas tradicionais, além de múltiplos usos da floresta e de seus produtos (SILVA, 2002). Segundo Marchiori e Sobral (1997), a madeira de *E. grandis* possui coloração rosado-clara, apresentando-se moderadamente dura e resistente à decomposição natural. De acordo com pesquisas de Pereira et al. (2000), árvores de *E. grandis* com 8 anos de idade, cultivadas em espaçamento 2,0 x 2,0 m, produziram madeira com massa específica básica de 0,50 g cm⁻³. Haselein et al. (2004) obtiveram valores de densidade básica de 0,46 g cm⁻³ para árvores com 27 anos, dispostas em espaçamento 3,0 x 2,0 m. Do ponto de vista anatômico, a madeira de *E. grandis* possui vasos pouco numerosos, dispersos e isolados, raios numerosos, dispersos e extremamente finos, parênquima paratraqueal escasso, envolvendo parcialmente os poros, e fibras libriformes e fibrotraqueídeos (TOMAZZELO FILHO, 1985). Dentre as principais características que dificultam o processamento e o uso da madeira de eucalipto, Ponce (1995) cita tensões de crescimento, madeira juvenil, colapso, nós, empenamento, bolsas de resina, variabilidade e retratibilidade.

Além dos usos tradicionais, como celulose e papel, lenha, estacas, chapas de fibras e partículas, moirões, dormentes e carvão vegetal, há uma forte tendência em utilizar a madeira de *E. grandis* para usos mais nobres, como fabricação de casas, móveis e estruturas (PEREIRA et al., 2000).

2.3 Poliuretano

A produção de poliuretano teve início em 1937, com Otto Bayer, em Leverkusen, na Alemanha. Em 1953, após a Segunda Guerra Mundial, esses polímeros tornaram-se conhecidos nos Estados Unidos da América com a produção comercial de espumas flexíveis. Em 1957, a disponibilidade de polióis poliéteres de baixo custo acelerou o crescimento da produção e no final da década de 1950 os isocianatos poliméricos foram introduzidos na fabricação desses sistemas (ULRICH, 1993).

O uretano é um grupo funcional que contém uma carbonila com o grupo carbonílico unido a um grupo – OR e a um grupo NR₂. Como tal, um uretano possui uma estrutura intermediária entre um carbonato e uma ureia (Figura 1). Um uretano normalmente é obtido

pela reação entre um álcool e um isocianato, sendo, portanto, o poliuretano obtido pela reação entre um diol e um diisocianato (Figura 2). Geralmente, o diol é um polímero de baixo peso molecular com grupos hidroxilas nas extremidades. Frequentemente, o diisocianato é um tolueno-2,4-diisocianato (McMURRY, 2009).

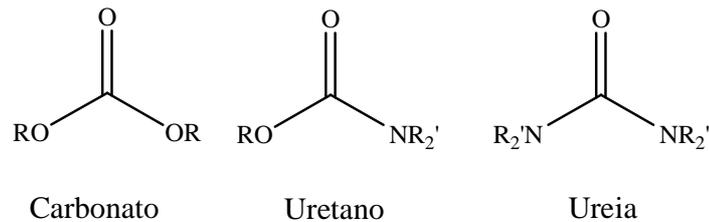


Figura 1 – Estrutura intermediária de um uretano
Fonte: Adaptado de McMurry (2009)

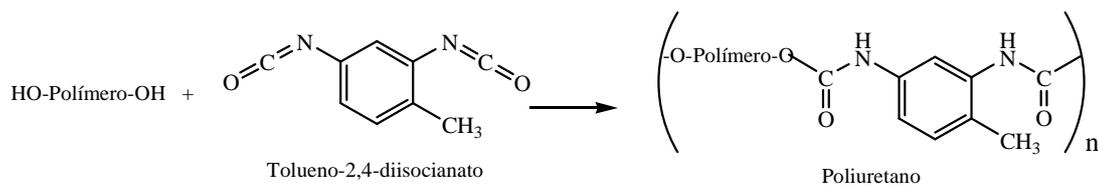


Figura 2 – Reação de obtenção de um poliuretano
Fonte: Adaptado de McMurry (2009)

De acordo com a ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química (2011), as matérias-primas do poliuretano podem variar de acordo com a necessidade de aplicação dos mesmos, a saber: dentre os polióis têm-se os poliéteres, poliésteres, óleo de mamona ou polibutadieno líquido hidroxilado; dentre os isocianatos, destacam-se o tolueno diisocianato (TDI), o difenilmetano diisocianato (MDI), o hexametileno diisocianato (HDI), o isoforona diisocianato (IPDI), o dicitlohexilmetano diisocianato (HMDI), o naftaleno diisocianato (NDI), o trifenilmetano diisocianato (TPMTI) e o fenilenodiisocianato diisocianato (PDI). Como aditivos, encontram-se fibras para reforço, antioxidantes, surfactantes, substâncias anti-chama, cargas, agentes de expansão, catalisadores e corantes (SALIBA JUNIOR, 2003).

Dentre as propriedades marcantes do poliuretano, destacam-se a resistência à abrasão e a facilidade de fabricação de peças de grandes dimensões e formas, bem como o menor custo de processamento (MANO, 2000). Segundo Harper (1996), o poliuretano possui alta

resistência à abrasão e ao rasgo, excelente absorção de choques, resistência a uma ampla gama de solventes, boas propriedades elétricas e excelente resistência ao envelhecimento causado pela exposição ao oxigênio. O autor destaca que suas propriedades podem ser reduzidas quando da exposição a altas temperaturas e/ou altos teores de umidade.

Os poliuretanos podem ser moldados em peças rígidas ou flexíveis, formando espumas macias e flexíveis ou duras e rígidas, além de serem aplicados como revestimentos de considerável durabilidade. Os poliuretanos podem ser termoplásticos ou termofixos, sendo estes os mais importantes do ponto de vista comercial (STRONG, 2006). Segundo Howard (2002), possuem uso generalizado nas áreas médica, automotiva e industrial, podendo ser encontrados em diversos produtos, como móveis, revestimentos, adesivos, materiais de construção, fibras, preenchimentos, tintas, elastômeros e peles sintéticas.

Na indústria calçadista, o poliuretano é empregado principalmente em solados, podendo ser uma alternativa ao couro no revestimento interno e externo dos calçados. As plataformas de sandálias femininas, por exemplo, são confeccionadas geralmente com poliuretano, devido à sua leveza e conforto, sendo resistentes à corrosão por agentes químicos e à abrasão (CANAUD, 2007). Os solados de calçados são fabricados com poliuretanos elastoméricos integrais, os quais podem ser constituídos por polióis poliésteres bifuncionais ou poliéteres com terminação hidroxila ou amina, extensores de cadeia, aminas terciárias ou catalisadores organoestânicos e um poliisocianato do tipo MDI modificado. O emprego desse tipo de poliuretano na indústria calçadista justifica-se por sua resistência à abrasão, à flexão e ao rasgo, bem como por sua elasticidade e flexibilidade, mesmo em temperaturas baixas, sendo utilizados principalmente em solados de calçados esportivos, sapatos masculinos e femininos, entressolas de tênis, calçados de segurança e palmilhas especiais (VILAR, 1999).

2.3.1 Resíduos de Poliuretano

A classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do processo/atividade que lhe deu origem, bem como a identificação de seus constituintes, comparando-os com as listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente são conhecidos. Os resíduos sólidos são classificados como perigosos e não perigosos, sendo este último grupo subdividido em inertes e não inertes (NBR 10004, 2004).

Dentre a ampla gama de resíduos produzidos no Brasil, destaca-se o poliuretano,

material cujo amplo espectro de utilização deixa uma considerável quantidade de resíduos, cerca de 2,5 mil toneladas/mês em todo país. Normalmente, grande parte desses resíduos é queimada de maneira indiscriminada ou descartada em aterros industriais, levando anos para se decompor. Relacionando-se o total da produção final, o percentual médio de resíduos de poliuretano no Brasil é de 8%, estimando-se, para 2012, uma projeção de descarte de aproximadamente 35 mil toneladas (LIBOS, 2007). Em relação aos resíduos de PU utilizados neste trabalho, cabe destacar a produção gerada pelo Município de Três Coroas/RS, do qual os mesmos são provenientes. De acordo com o Sindicato da Indústria de Calçados, Componentes para Calçados de Três Coroas/RS (2011), estima-se que, das 250 toneladas de resíduos geradas por mês no município, 8,7 toneladas correspondem a resíduos de poliuretano.

Com o intuito de minimizar o problema, vários autores desenvolveram estudos acerca da incorporação de resíduos de poliuretano para o desenvolvimento de novos materiais. Rosa e Guedes (2003), ao desenvolverem processos de reciclagem mecânica de poliuretano oriundo de resíduos industriais automotivos, verificaram a possibilidade de incorporação de grandes quantidades desse tipo de resíduo aos compostos formados, atingindo-se propriedades satisfatórias e adequadas à aplicação em produtos como pisos de academias de ginástica e pistas de atletismo. Gobbi et al. (2004) desenvolveram ensaios com o objetivo da reutilização dos resíduos de poliuretano na elaboração de misturas com polietileno de alta densidade, visando à confecção de placas para a fabricação de mobiliário urbano. Bom (2008) constatou que a produção de misturas à base de acrilonitrilo-estireno-butadieno (ABS) e resíduos de espumas rígidas de poliuretano provenientes do processo de fabricação de refrigeradores é uma alternativa viável para a fabricação de alguns tipos de componentes, considerando-se as propriedades mecânicas e reológicas das misturas obtidas. Modro et al. (2009) utilizaram resíduos de espuma rígida de poliuretano provenientes da indústria de refrigeração como elementos de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas *in loco*, constatando a possibilidade favorável de utilização desse resíduo como substituto de formas convencionais para a confecção de lajes, apresentando-se como uma alternativa viável para dar um destino nobre aos resíduos, reduzindo o consumo de produtos provenientes de fontes naturais não renováveis.

2.4 Caracterização de Painéis à Base de Madeira

Diversos métodos de caracterização de painéis à base de madeira encontram-se descritos na literatura. Dentre as características físico-mecânicas dos painéis, destaca-se a determinação da absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, tração perpendicular à superfície do painel e arrancamento de parafusos (HILLIG, 2000; DACOSTA, 2004; PEDRAZZI, 2005; LILGE, 2009; WEBER, 2011). Avaliando a qualidade de painéis aglomerados confeccionados com madeira e casca de arroz, Melo (2009) realizou ensaios de preferência alimentar a cupins subterrâneos e de resistência a fungos xilófagos. Ao caracterizar compósitos produzidos a partir de madeira e resíduos de recauchutagem de pneus, Macedo (2008) determinou as propriedades colorimétricas e acústicas dos painéis produzidos. A análise colorimétrica abrangeu a determinação da saturação e ângulo de tinta, determinando-se a tonalidade do eixo verde-vermelho, a tonalidade eixo azul-amarelo e a luz incandescente. A caracterização acústica foi feita através da técnica de propagação de ondas de tensão, medindo-se tempo de passagem da onda entre a fonte geradora de tensão e a fonte receptora. Estudos realizados por Sonderegger e Niemz (2009) abrangeram a determinação da condutividade térmica e transmissão de vapor d'água, de acordo com as normas ISO 8302 e ISO 12572, respectivamente.

2.5 Isolamento Térmico

Resistência térmica é o quociente da diferença verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário (NBR 15220-1, 2003). Materiais com alto valor de resistência térmica, por conseguinte baixa condutividade térmica, caracterizam-se como bons isolantes térmicos (TORREIRA, 2002).

Quando se deseja manter um ambiente dentro de certa faixa de temperatura, é necessário evitar que a transferência de calor ocorra. Isso pode ser feito através do emprego de um material com baixa condutividade térmica nos fechamentos (TRAINING PUBLICATIONS DIVISION, 2004). De acordo com a norma NBR 15220-1 (2003), condutividade térmica é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W m^{-2} , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 K m^{-2} . Segundo Hugon (1979), como boa

condutibilidade térmica, considera-se aquela que oferece conforto em virtude de oscilar entre 1,0 e 1,5°C. De acordo com Frota e Schiffer (2003), a condutividade térmica de um material depende dos seguintes fatores: (i) densidade do material – a matéria sempre é muito mais condutora que o ar contido em seus poros; (ii) natureza química do material – os materiais amorfos geralmente são menos condutores que os cristalinos; (iii) umidade do material – a água é mais condutora que o ar. A Tabela 1, de caráter não restritivo, apresenta a condutividade térmica de diversos materiais de construção em função de sua massa específica.

Tabela 1 – Condutividade térmica de diversos materiais de construção em função de sua massa específica

(continua)

Material	Massa Específica (kg m⁻³)	Condutividade Térmica (W m⁻¹ K⁻¹)
Argamassas		
Argamassa comum	1800-2100	1,15
Argamassa de gesso	1200	0,70
Cerâmica		
Tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70
	1300-1600	0,90
Fibrocimento		
Placas de fibrocimento	1800-2200	0,95
	1400-1800	0,65
Concreto (com agregados de pedra)		
Concreto normal	2200-2400	1,75
Concreto cavernoso	1700-2100	1,40
Gesso		
Placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35
Com agregado leve (1:1)	700-900	0,30
Granulados		
Brita ou seixo	1000-1500	0,70
Argila expandida	< 400	0,16
Areia seca	1500	0,30
Isolantes Térmicos		
Lã de rocha	20-200	0,045
Lã de vidro	10-100	0,045
Espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030
Madeiras e Derivados		
Madeiras com massa específica elevada	800-1000	0,29
Aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058

(conclusão)		
Aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17
	550-650	0,14
Compensado	450-550	0,15
	350-450	0,12
Metais		
Aço; ferro fundido	7800	55
Alumínio	2700	230
Plásticos		
Borracha sintética; polietilenos	900-1700	0,40
Policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20
Vidros		
Vidro comum	2500	1,00

Fonte: Adaptado de NBR 15220-2 (2003).

Dentre os conceitos definidos pela norma NBR 15220-1 (2003), podem-se destacar ainda: (i) fluxo de calor – quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo; (ii) densidade de fluxo de calor – quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície.

A isolamento térmica tem como princípio fundamental a utilização de materiais ou sistemas que imponham resistência às maneiras do calor propagar-se, reduzindo a velocidade de transmissão e a quantidade transmitida por unidade de tempo. Como objetivos principais, pode-se citar economia de energia, estabilidade operacional, conforto térmico, proteção do pessoal, e proteção de estruturas (TORREIRA, 2002). Dentre as vantagens do isolamento térmico, Marques et al. (2010) destacam a redução das perdas de calor, manutenção de temperaturas amenas no inverno e frescas no verão, economia de energia, climatização dos ambientes e manutenção da temperatura das superfícies superior à temperatura do ponto de orvalho, evitando condensações.

Dentre as propriedades ideais que um material deve possuir para ser considerado um bom isolante térmico, têm-se baixa condutividade térmica, baixa massa específica, resistência mecânica, estabilidade química e física, incombustibilidade ou auto extingüibilidade, resistência específica ao seu ambiente de utilização, facilidade de aplicação, baixa higroscopicidade, ausência de odores, resistência ao ataque de organismos e economicidade, dentre outras. A escolha de um bom isolante térmico reside na análise de um material que satisfaça ao máximo cada uma das características anteriormente citadas (TORREIRA, 2002). Como materiais utilizados no isolamento térmico, o supracitado autor destaca lã de rocha, lã

de vidro, silicato de cálcio, cimentos isolantes, sílica diatomácea, fibras cerâmicas e, especificamente, espuma rígida de poliuretano, cujo poder isolante permite conseguir o dobro de eficiência térmica de isolamento daquela que se obteria com qualquer outro material, implicando em uma redução de cerca de 50% em espessura. De acordo com Araujo (2002), a madeira é considerada má condutora de calor, correntes elétricas e ondas sonoras, características estas que lhe conferem qualidades adequadas ao isolamento desses agentes.

De maneira comparativa, Westphal et al. (2011) citam exemplos de componentes que possuem resistência térmica igual a $0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C W}^{-1}$, correspondente a um centímetro de lã de vidro, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Componentes com resistência térmica igual a $0,22 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C W}^{-1}$, correspondente a um centímetro de lã de vidro

Material	Espessura (cm)
Painel de lã de vidro	1,0
Concreto celular	3,8
Madeira	5,1
Tijolo	20,0
Concreto normal	39,0

Fonte: Adaptado de Westphal et al (2011)

Nesse contexto, cabe definir conforto térmico, o qual é caracterizado como sendo a satisfação psicológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente (NBR 15220-1, 2003). Segundo Carlo (2005), a não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto gerado pelo frio ou pelo calor, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, ou seja, quando o balanço térmico não é estável. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação pode ser realizada tanto na fase de projeto quanto após sua construção. Durante a fase de projeto, a avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do atendimento de diretrizes construtivas. Quando da edificação construída, pode-se avaliar o desempenho térmico através de medições *in loco* de variáveis que representem o desempenho (NBR 15220-3, 2003).

Em relação ao desempenho térmico de edificações, a norma NBR 15220-5 (2003), a qual é fundamentada na norma ASTM C177 (1985), estabelece o método de utilização de

técnicas fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, sendo possível calcular a condutividade térmica. De acordo com a norma, a sequência da medição da resistência térmica em regime permanente pode ser assim definida: (i) aplicação de uma densidade de fluxo de calor constante através da zona central de medição de um ou dois fluxímetros e da zona central de um ou dois corpos-de-prova em forma de placa; (ii) determinação da densidade de fluxo de calor que atravessa o(s) corpo-de-prova(s) a partir do sinal fornecido pelo(s) fluxímetro(s) e da(s) constante(s) de calibração do(s) fluxímetros(s); (iii) cálculo da resistência térmica do(s) corpo-de-prova(s) através do quociente de diferença da temperatura entre as faces do(s) mesmo(s) e da densidade de fluxo de calor. Conforme Simioni (2005), o princípio do método fluximétrico, em seus diferentes arranjos (Figura 3), consiste na submissão de uma amostra a um fluxo de calor gerado por uma resistência aquecedora, a qual dissipa calor na placa quente, tendo esta a função de distribuir de maneira uniforme o calor em toda sua área, transformando-a em uma superfície isotérmica. Todo o calor gerado pela resistência aquecedora atravessa o primeiro condutor, a amostra e o segundo transdutor, sendo retirado pela placa fria.

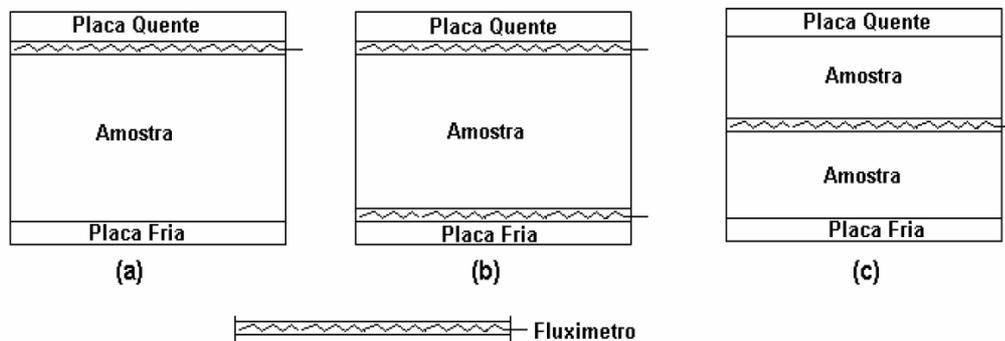


Figura 3 – Arranjos possíveis para o método fluximétrico utilizado na determinação da resistência térmica em regime estacionário

Fonte: NBR 15200-5 (2003)

2.6 Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo

O som é uma impressão fisiológica produzida por vibrações dos corpos que chegam ao ouvido humano por meio de ondas elásticas, as quais necessitam de um meio para se propagarem. Assim, o som só pode ser produzido e transmitido em um meio elástico, não se

propagando no vácuo. No ar, o som propaga-se através de ondas longitudinais que se constituem alternadamente de condensações e rarefações, propagando-se em todas as direções mediante esferas concêntricas, cujo raio aumenta à medida que o som afasta-se da fonte (CHEMELLO e LUZZATO, 19--). Segundo Marco (1982), a onda sonora pode ser caracterizada pelos seguintes elementos: (i) altura – relaciona-se com a sequência das vibrações sonoras, caracterizando o som como agudo ou grave; (ii) intensidade – diz respeito à amplitude da onda, caracterizando a variação de pressão do meio em que se verifica sua propagação; (iii) timbre – relaciona-se diretamente com a composição harmônica da onda sonora, permitindo identificar a procedência do som; (iv) frequência – é o número de vibrações completas executadas pela onda sonora durante um segundo, caracterizando a altura do som, sendo medida em hertz (Hz).

De acordo com Nunes (2005), a pressão sonora audível pode variar dentro de uma faixa de 20 μ Pa e 100 Pa, sendo esta usualmente expressa através de escala logarítmica, em decibéis (dB), onde o valor de 20 μ Pa ou 0 dB corresponde ao limiar da audibilidade humana e 100 Pa ou 120 dB ao limiar da dor. A Tabela 3 demonstra os diferentes níveis de intensidade de ruído, relacionando-os com diferentes fontes sonoras.

Tabela 3 – Níveis de intensidade de ruído

Fonte Sonora	Nível Sonoro (dB)
Limiar da sensação dolorosa	120
Rebitador	95
Tráfego intenso	80
Conversação comum	65
Aparelho de rádio, “baixo”	40
Conversação, “baixa”	20
Limiar da audição	0

Fonte: Chemello e Luzzato, 19--.

O som é uma sensação agradável aos ouvidos, porém sons que produzem sensações menos agradáveis podem ser definidos como ruídos, os quais, segundo Bento et al. (1998), não possuem períodos regulares, não havendo movimentação rítmica das partículas, o que faz com que um ciclo seja exatamente igual ao que o precede ou que o segue. Assim, não há caracterização de frequência, comprimento, período ou ciclo, havendo apenas intervalos de

frequência aproximados.

Em relação à transmissão do som, a norma NBR 12179 (1992) classifica o ruído em ruído de impacto, produzido por percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar, e ruído aéreo, produzido e obtido através do ar. Segundo Macedo (2004), a transmissão aérea ocorre em ambientes abertos, passando por aberturas como janelas, portas, sistemas de ventilação ou elementos divisórios. A redução de ruídos, expressa em decibéis, refere-se à diferença percebida nos níveis de pressão de som entre dois espaços fechados, podendo ocorrer devido à perda de transmissão entre a parede, o piso e o teto, às qualidades absorventes do espaço receptor, ao nível de mascaramento ou devido ao som ambiente, o qual aumenta o limite de audição para os outros sons. A redução de ruídos necessária de um espaço a outro depende do nível da fonte de sons e do nível de intrusão do som que possa ser aceitável pelo ouvinte.

O isolamento acústico contra o ruído aéreo foca principalmente na transmissão de energia sonora entre dois ambientes. Assim, considerando-se dois ambientes vizinhos (um local de emissão, onde se coloca uma fonte de ruído, e um local de recepção), verifica-se que a fonte sonora faz vibrar todas as paredes do local de emissão e não apenas a parede divisória do local de recepção, o que infere que a energia acústica é transmitida de um local a outro por todas as paredes comuns aos dois ambientes. A transmissão que ocorre pela parede de separação é denominada transmissão direta, e aquela que ocorre pelas paredes laterais é a transmissão indireta (Figura 4). A energia acústica que penetra no ambiente de recepção reflete-se nas paredes desse local, conservando-se por um período mais ou menos longo, conforme as paredes forem reflexivas ou revestidas de um material que atue como isolante acústico. Assim, o isolamento acústico entre dois locais depende da natureza da parede de separação e das paredes laterais comuns aos dois ambientes e ao caráter mais ou menos reverberante do local de recepção (HUGON, 2004). A Figura 5 demonstra a relação entre a energia acústica incidente (E_i), absorvida (E_a), refletida (E_r) e transmitida (E_t) por uma parede, sendo possível perceber que se o isolamento acústico for bom o suficiente, a energia transmitida pela parede será pequena. De acordo com Patrício (2004), o isolamento acústico do ruído aéreo depende da inércia e das características elásticas de rigidez e amortecimento interno dos elementos da divisória considerada.

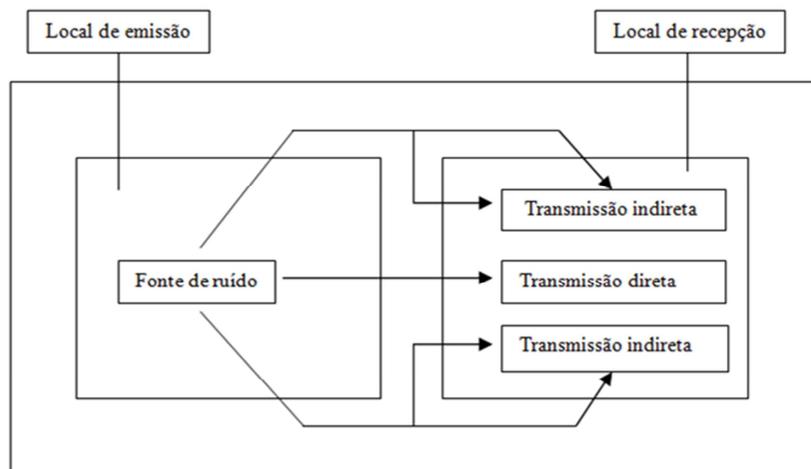


Figura 4 – Transmissão da energia acústica entre dois ambientes adjacentes
 Fonte: Adaptado de Beranek (1962 apud BUCUR, 2006)

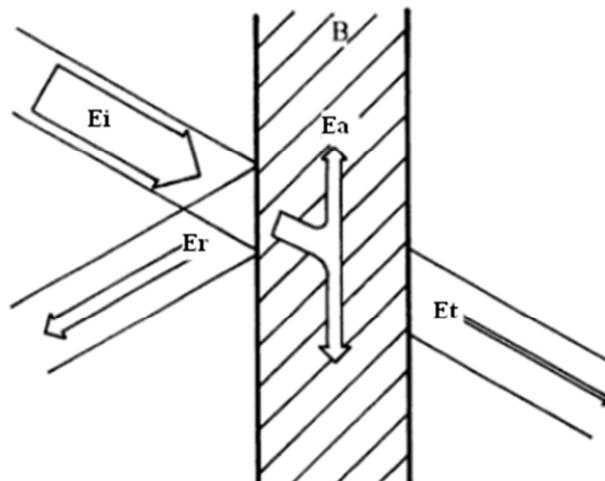


Figura 5 – Representação esquemática da energia incidente (E_i) em uma parede e as correspondentes energias transmitida (E_t), absorvida (E_a) e refletida (E_r)
 Fonte: Adaptado de Braune (1960 apud BUCUR, 2006)

Materiais comumente empregados como absorvedores sonoros são fibrosos, como a lã de vidro e a lã de rocha, ou porosos, como as espumas de poliuretano (Figura 6). Nesses materiais, a absorção do som ocorre essencialmente pela dissipação da energia sonora por atrito, resultado do movimento das moléculas do ar no interior do material quando da passagem da onda sonora. Considera-se que um bom absorvente de som é o material que permite às moléculas de ar penetrar e se movimentar em seu interior (BISTAFA, 2006). Segundo Catai et al. (2006), os materiais utilizados para isolamento acústico classificam-se

em materiais convencionais, de uso comum na construção civil (blocos cerâmicos, blocos de concreto, madeira, vidro e blocos de sílico calcário) e materiais não convencionais, desenvolvidos especialmente para isolar acusticamente os ambientes (lã de vidro, lã de rocha, vermiculita, espumas elastoméricas e fibra de coco).

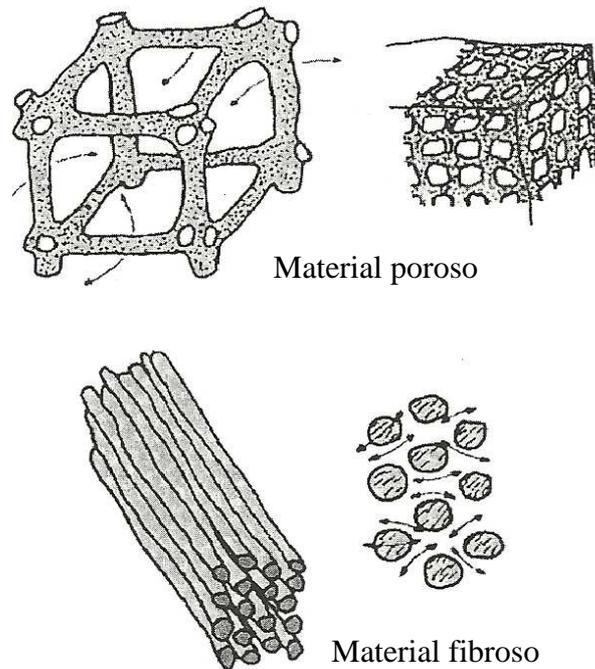


Figura 6 – Estrutura de materiais porosos e fibrosos
Fonte: Gerges (2000 apud BISTAFA, 2006)

Villar (1999) cita que espumas flexíveis de poliuretano são especialmente adequadas ao isolamento acústico, devido, principalmente, à predominância de células abertas e à baixa resistência à passagem do ar, bem como às suas propriedades elásticas. Segundo o autor, a energia sonora é absorvida principalmente pela fricção do ar em movimento nos poros interconectados e, em menor grau, pelo processo de relaxação da rede polimérica em vibração. Pesquisas desenvolvidas por Menegotto et al. (2010) e por Nunes et al. (2010) indicam potencial significativo de materiais produzidos a partir de resíduos de poliuretano provenientes da indústria calçadista na atenuação de ruídos de impacto, destacando ainda que a reutilização de materiais que ofereçam alternativas para o destino dos resíduos gerados pelas indústrias calçadistas pode ser uma prática recorrente na construção civil, desde que o desempenho desse material seja compatível com o uso dos ambientes. Nunes e Bayer (2011) avaliaram o desempenho de materiais confeccionados com resíduos da indústria calçadista no

isolamento do ruído aéreo em fechamentos verticais compostos, observando que a configuração de fechamento composta por placas de poliuretano confeccionadas com 0, 5 e 10% de resíduo de poliuretano apresentou desempenho semelhante à lã de vidro disponível no mercado, material este comumente utilizado no tratamento acústico de ambientes.

Em relação à incorporação de resíduos poliméricos na confecção de painéis aglomerados de madeira, Macedo (2008) utilizou a técnica de propagação de ondas de tensão, medindo o tempo de passagem da onda entre a fonte geradora da tensão e a fonte receptora da onda, com o objetivo de caracterizar acusticamente painéis confeccionados com madeira de *Pinus taeda* e partículas de borracha de pneu e painéis confeccionados com madeira de *P. taeda*, cimento Portland e partículas de borracha de pneu. O autor verificou que o aumento no teor de borracha promoveu melhoria nas propriedades acústicas dos painéis como material isolante, observando uma redução na velocidade de propagação das ondas sonoras nos painéis confeccionados com as maiores percentagens de borracha. Macedo (2008) ainda cita que, nos casos dos painéis cimento-madeira-borracha, a adição dos resíduos poliméricos possibilita o barateamento nos custos de produção e transporte, devido à menor quantidade de cimento empregada e à menor densidade do compósito, respectivamente.

No que tange à metodologia utilizada no presente trabalho, diversos autores fizeram uso de câmaras reverberantes em escala reduzida para avaliar o desempenho acústico de materiais. Toutonge (2006) projetou e construiu duas minicâmaras geminadas, em escala 1:6, realizando estudos acerca da perda de transmissão sonora de divisórias confeccionadas com fibra de coco e fibra de açaí, estabelecendo uma comparação entre o desempenho desses materiais. Guedes (2007) desenvolveu uma câmara reverberante em escala 1:6 de um volume de 200 m³, apresentando uma metodologia de qualificação e adequação do campo acústico interno da câmara, bem como a caracterização e validação de ensaios realizados com placas de poliuretano Sonex[®] e painéis de manta de fibra de coco. Santos e Beroli (2008) validaram o campo acústico de uma câmara em escala 1:5 através da determinação do coeficiente de absorção sonora de materiais comerciais cujos coeficientes já haviam sido catalogados. Vieira (2008) fez uso de uma câmara reverberante em escala 1:5 para a determinação do coeficiente de absorção acústica de painéis de fibra de coco de diferentes densidades. Castro (2010) utilizou uma câmara reverberante em escala 1:5 para determinar o coeficiente de absorção sonora de blocos cerâmicos acústicos produzidos com argila e lodo de lavanderia industrial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção e Preparo da Matéria-Prima

3.1.1 Partículas de Madeira

As partículas de madeira foram obtidas a partir de tábuas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden provenientes de plantios com aproximadamente 25 anos de idade pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO FLORESTAS, localizada em Boca do Monte, Distrito de Santa Maria/RS. As tábuas foram resserradas, obtendo-se blocos com 15 cm de comprimento, 7 cm de largura e 5 cm de espessura. A fim de facilitar o corte e a obtenção de flocos inteiros, os blocos foram mantidos submersos em água por 15 dias. Após esse período, com o auxílio de um moinho de facas (*flaker*) ajustado para um corte de 0,55 mm de espessura, foram obtidos flocos da madeira, os quais foram submetidos à secagem ao ar por um período de 20 dias. Após a secagem, os flocos foram reprocessados em moinho de martelos, equipado com peneira de 8 mm de diâmetro. As partículas obtidas nessa etapa foram processadas em moinho de facas MARCONI MA580[®], equipado com peneira de orifícios de 4 mm de diâmetro. A classificação das partículas foi feita em peneiras da Série Tyler, com peneiras de 9, 14, 20 e 28 Mesh Tyler. As partículas utilizadas na confecção dos painéis foram aquelas retidas nas peneiras de 9, 14 e 20 Mesh Tyler. A agitação mecânica necessária à seleção das partículas foi gerada por um agitador mecânico PRODUTEST[®], por um período de 10 minutos.

O processo completo de obtenção das partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis pode ser visualizado na Figura 7.



Figura 7 – Processo de obtenção das partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis: tábua de *E. grandis* (A); blocos de madeira após imersão em água (B); obtenção dos flocos (C); secagem dos flocos (D); processamento dos flocos em moinho de martelos (E); reprocessamento das partículas em moinho de facas (F); classificação das partículas (G); e partículas obtidas ao final do processo (H)

3.1.2 Sólidos Granulares de Poliuretano

Os sólidos granulares de poliuretano foram obtidos a partir de resíduos de solados de calçados provenientes do setor calçadista do Município de Três Coroas, no estado do Rio Grande do Sul. Os solados foram processados em moinho granulador horizontal SEIBT MGHS 30-510[®], equipado com peneira de orifícios de 8 mm de diâmetro. Após esse procedimento, as partículas obtidas foram processadas em moinho de facas MARCONI MA580[®], equipado com peneira de orifícios de 4 mm de diâmetro. A seleção dos grânulos foi feita em peneiras da Série Tyler, com peneiras de 6 e 20 Mesh Tyler, sendo utilizados na confecção dos painéis aqueles retidos na peneira de 20 Mesh Tyler. A agitação mecânica necessária à seleção dos grânulos foi gerada por um agitador mecânico PRODUTEST[®], por um período de 10 minutos.

O processo completo de obtenção dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis pode ser visualizado na Figura 8.

3.1.3 Pré-Polímero

Como material aglutinante foi utilizado um pré-polímero de poliisocianato modificado baseado no MDI, marca comercial Elastan 8004/BR[®] - BASF, cujas características físicas encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Características físicas do Elastan 8004/BR[®]

Característica	Valor	Unidade
Aparência	Líquido levemente amarelado	-
Conteúdo de NCO	10,5	%
Densidade	1,17	g/l
Viscosidade	1.200	mPa.s

Fonte: BASF Poliuretanos Ltda. (2009)



Figura 8 – Processo de obtenção dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis: solado de poliuretano (A); processamento em moinho granulador (B); processamento em moinho de facas (C); seleção dos grânulos (D); e grânulos obtidos ao final do processo (E)

3.2 Produção dos Painéis Aglomerados

As partículas de madeira e os sólidos granulares de poliuretano selecionados para a confecção dos painéis foram mantidos em câmara climatizada por um período de 15 dias, a 23°C e 55% de umidade relativa do ar, onde alcançaram teor de umidade de equilíbrio de 9,5 e 1,5%, respectivamente. A composição dos painéis foi estabelecida de maneira a apresentar 100 partes de partículas e/ou sólidos granulares, 20 partes de pré-polímero Elastan 8004/BR[®] e duas partes de água, com massa específica nominal de 0,35 g cm⁻³ ao teor de umidade de equilíbrio.

Após a retirada do material da câmara climatizada, o mesmo foi imediatamente utilizado na confecção dos painéis. As partículas de madeira, os sólidos granulares de poliuretano, o pré-polímero e a água foram misturados em uma argamassadeira eletromecânica CONTENCO[®], a uma velocidade de 830 rpm, da seguinte forma: (i) adição do pré-polímero às partículas e/ou sólidos granulares; (ii) incorporação do pré-polímero; (iii) adição de água à mistura; (iv) incorporação da água por três minutos. A mistura final foi disposta em uma caixa de madeira com dimensões de 32 x 32 x 10 cm, revestida com filme de polietileno de baixa densidade. O processo de confecção dos painéis aglomerados pode ser visualizado na Figura 9.

A prensagem foi realizada em sistema de prensa manual, a temperatura ambiente, sob 2,70 kgf cm⁻² de pressão, por um período de 24 horas (Figura 10). A determinação da pressão aplicada foi realizada com o auxílio de uma célula de carga KRATOS[®] (Figura 11).

Após a prensagem, os painéis foram identificados e tiveram suas bordas aparadas, passando para as dimensões de 30,0 x 30,0 x 1,4 cm. Em seguida, os mesmos foram acondicionados em câmara climatizada a 23°C e 55% de umidade relativa do ar, por um período de 20 dias, atingindo peso constante.

Após a climatização, os painéis foram utilizados no ensaio de desempenho acústico. Em seguida, foram confeccionados os corpos-de-prova necessários à realização dos ensaios físico-mecânicos e determinação da condutividade térmica, os quais foram levados à câmara climatizada até o momento dos ensaios.



Figura 9 – Confeção dos painéis: argamassadeira (A); incorporação do pré-polímero (B); adição de água (C); e disposição da mistura na caixa (D)



Figura 10 – Prensagem dos painéis: prensa utilizada (A); e detalhe da prensagem (B)



Figura 11 – Célula de carga utilizada na determinação da pressão aplicada durante a prensagem dos painéis

3.3 Tratamentos

As variáveis estudadas foram cinco diferentes proporções entre sólidos granulares de poliuretano e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, conforme indicado na Tabela 5. Foram confeccionados três painéis por tratamento, totalizando 15 painéis, com dimensões de 32,0 x 32,0 x 1,4 cm e massa específica nominal de 0,35 g cm⁻³.

Tabela 5 – Proporções entre sólidos granulares de poliuretano e partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis aglomerados

Tratamentos	Sólidos Granulares/Partículas	
	Poliuretano (% m/m)	Madeira (% m/m)
1	0	100
2	15	85
3	30	70
4	45	55
5	60	40

3.4 Análises Estatísticas

Os resultados obtidos foram interpretados com o auxílio do *Software* STATGRAPHICS CENTURION XV[®] (2006), relacionando-se os dados obtidos com os tratamentos em estudo. Os resultados foram avaliados por análise de regressão linear múltipla para intervalos de confiança de 95% ou comparação entre médias através do método *Fisher's Least Significant Difference* (LSD), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3.5 Ensaios Realizados

3.5.1 Caracterização da Matéria-Prima

A caracterização das partículas de madeira e dos sólidos granulares de poliuretano foi realizada através de análise granulométrica, em triplicata, utilizando-se peneiras da Série Tyler, com 9, 14 e 20 Mesh Tyler. A agitação mecânica necessária ao ensaio foi fornecida por um agitador mecânico PRODUTEST[®], por um período de 10 minutos.

3.5.2 Massa Específica e Teor de Umidade de Equilíbrio (TUEq)

Foram utilizadas amostras com dimensões de 5,0 x 5,0 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retiradas duas amostras por painel, totalizando 6 amostras por tratamento.

As dimensões e o peso das amostras foram determinados ao teor de umidade de equilíbrio (20°C e 65% de umidade relativa do ar) e após secagem em estufa a 103°C. Os valores obtidos foram utilizados no cálculo da massa específica ao teor de umidade de equilíbrio (MEe) e teor de umidade de equilíbrio (TUEq) de cada amostra (Equações 1 e 2). Para a comparação e padronização dos dados, a MEE foi corrigida para a massa específica básica (MEb) através da Equação 3.

$$MEe (g \text{ cm}^{-3}) = \frac{\text{Massa ao teor de umidade de equilíbrio (g)}}{\text{Volume ao teor de umidade de equilíbrio (cm}^3)} \quad (1)$$

$$TUE (\%) = \frac{\text{Massa ao teor de umidade de equilíbrio (g)} - \text{Massa seca (g)} \times 100}{\text{Massa seca (g)}} \quad (2)$$

$$MEb (g \text{ cm}^{-3}) = MEE \times \frac{1}{1 + \left(\frac{TUE}{100} \right)} \quad (3)$$

Onde:

MEe = Massa específica ao teor de umidade de equilíbrio ($g \text{ cm}^{-3}$);

TUE = teor de umidade de equilíbrio (%);

MEb = massa específica básica ($g \text{ cm}^{-3}$).

3.5.3 Absorção de Água e Inchamento em Espessura

O procedimento adotado para a determinação da absorção de água e inchamento em espessura dos painéis seguiu a norma NBR 14810-3 (2002). Foram utilizadas amostras com 5,0 x 5,0 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retiradas duas amostras por painel, totalizando 6 amostras por tratamento.

As amostras permaneceram imersas em água (20°C) por um período de 2 e 24 horas (Figura 12A). A espessura das amostras foi obtida com o auxílio de um relógio comparador, sendo medida no ponto formado pela intersecção de suas diagonais (Figura 12B). As dimensões laterais foram determinadas com o auxílio de paquímetro digital, e a massa, em balança analítica. Essas variáveis foram obtidas ao teor de umidade de equilíbrio e após imersão em água por 2 e 24 horas.



Figura 12 – Imersão das amostras em água (A); e determinação da espessura das amostras com auxílio de relógio comparador (B)

O inchamento em espessura e a absorção de água foram determinados através das Equações 4 e 5, respectivamente.

$$IE (\%) = \frac{\text{Espessura após a imersão (mm)} - \text{Espessura antes da imersão (mm)}}{\text{Espessura antes da de imersão (mm)}} \times 100 \quad (4)$$

$$Ab (\%) = \frac{\text{Massa após a imersão (g)} - \text{Massa antes da imersão (g)}}{\text{Massa antes do período de imersão (g)}} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

IE = Inchamento em espessura (%);

Ab = absorção de água (%).

3.5.4 Resistência à Tração Perpendicular

A tração perpendicular à superfície dos painéis foi determinada de acordo com a norma

NBR 14810-3 (2002). Foram utilizadas amostras com 5,0 x 5,0 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retiradas duas amostras por painel, totalizando 6 amostras por tratamento. As superfícies superior e inferior das amostras foram coladas em blocos de aço utilizando-se adesivo termoplástico do tipo *hot-melt*. O conjunto formado pelos blocos de tração e pela amostra foi acoplado à máquina universal de ensaios, acionando-se a mesma, a uma velocidade de 4 mm por minuto, até a ruptura da amostra (Figura 13).

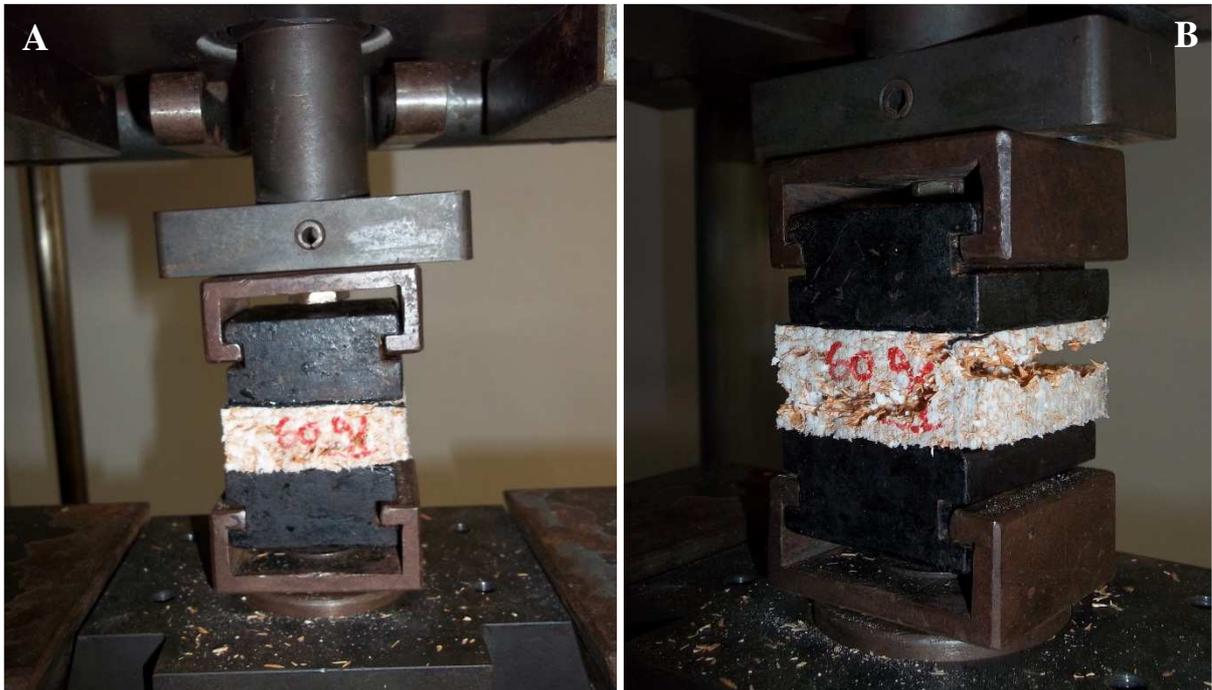


Figura 13 – Ensaio de tração perpendicular à superfície do painel, realizado de acordo com a norma NBR 14810-3 (2002): realização do ensaio (A); e detalhe da ruptura da amostra (B)

A resistência à tração perpendicular das amostras, expressa em MPa, foi determinada através da Equação 6.

$$TP \text{ (MPa)} = \frac{\text{Carga máxima (N)}}{\text{Área de esforço (m}^2\text{)}} \quad (6)$$

Onde:

TP = Tração perpendicular (MPa).

3.5.5 Dureza Janka

A dureza Janka foi determinada de acordo com a norma NBR 14810-3 (2002), adaptando-se, porém, as dimensões das amostras. Foram utilizadas amostras com 10,0 x 6,0 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retiradas duas amostras por painel, totalizando 6 amostras por tratamento. A máquina universal de ensaios foi regulada para uma velocidade de compressão de 6 mm por minuto, acionando-se o aparelho até que a esfera de 11,3 mm de diâmetro penetrasse por completo na amostra (Figura 14). Foram feitas duas penetrações por amostra, separando-as o suficiente para que uma penetração não tivesse efeito sobre a outra. A dureza Janka foi expressa em MPa, correspondendo à força necessária para a penetração superficial de uma esfera de aço de secção diametral de 1 cm².



Figura 14 – Ensaio de dureza Janka, realizado de acordo com a norma NBR 14810-3 (2002)

3.5.6 Resistência ao Arrancamento de Parafuso na Superfície

A resistência ao arrancamento de parafuso na superfície foi determinada de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999). O tamanho das amostras foi adaptado, sendo reaproveitadas as amostras utilizadas no ensaio de dureza Janka, as quais foram cortadas ao meio, no sentido do comprimento. As duas extremidades foram coladas face a face com adesivo termoplástico do tipo *hot melt*, objetivando-se aumentar a espessura da amostra. Após a colagem completa, foram

inseridos parafusos com 3,5 mm de diâmetro, 2,54 cm de comprimento e 16 roscas por polegada, sendo a inserção até 2/3 do comprimento do parafuso (1,69 cm). A resistência máxima ao arrancamento de parafuso foi obtida em máquina universal de ensaios, a uma velocidade de 1,5 mm por minuto, registrando-se a carga máxima aplicada para o arrancamento do parafuso, sendo esta expressa em N (Figura 15).



Figura 15 – Ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso, realizado de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999)

3.5.7 Resistência ao Impacto IZOD

A resistência ao impacto IZOD foi determinada de acordo com a norma ASTM D 256 (1997). Foram utilizadas amostras com 1,21 x 6,4 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retiradas 5 amostras por painel, totalizando 15 amostras por tratamento. O ensaio foi realizado em máquina CEAST[®] (Figura 16), equipada com martelo de 1 joule, a 25°C, aplicando-se uma velocidade de impacto de 3,46 m/s. Os resultados foram expressos em J/m.



Figura 16 – Equipamento CEAST[®] utilizado no ensaio de resistência ao impacto IZOD
Fonte: Finkler (2005)

3.5.8 Condutividade Térmica

A condutividade térmica dos painéis aglomerados foi determinada de acordo com a norma NBR 15220-5 (2003), adotando-se uma configuração assimétrica, conforme Figura 17. Foram utilizadas amostras com 10,0 x 10,0 x 1,4 cm de largura, comprimento e espessura, respectivamente, sendo retirada uma amostra por painel, totalizando 3 amostras por tratamento.

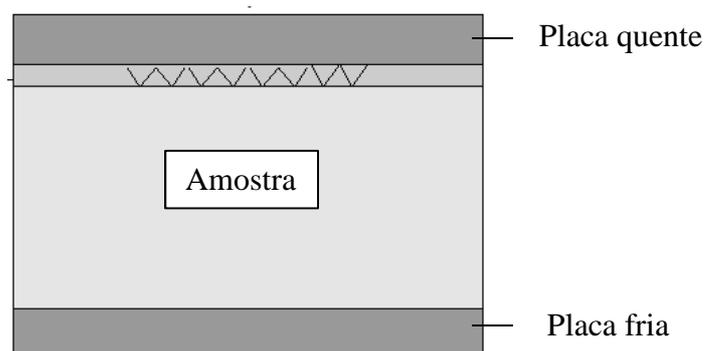


Figura 17 – Configuração assimétrica utilizada no ensaio de condutividade térmica dos painéis aglomerados

O ensaio foi realizado em sistema adaptado, utilizando-se uma prensa Gorges & Aguillar[®]. A amostra foi colocada entre duas placas de metal, uma aquecedora e outra de resfriamento, aplicando-se uma temperatura de 50°C (Figura 18A). A temperatura das placas

quente e fria foi determinada com o auxílio de dois termômetros digitais, com precisão de 0,1°C. Com o objetivo de minimizar possíveis fugas de calor pelas laterais do sistema, o mesmo foi isolado com manta de lã de vidro (Figura 18B), conforme recomendado pelas normas NBR 15220-5 (2003) e ASTM C177 (1985). As temperaturas foram lidas em intervalos de um minuto, até a estabilização de cinco temperaturas da placa fria. O fluxo de calor aplicado no sistema foi determinado através de medições com lã de rocha Thermax[®] (densidade 0,032 g cm⁻³), a qual possui condutividade térmica conhecida (0,045 W m⁻¹ K⁻¹).

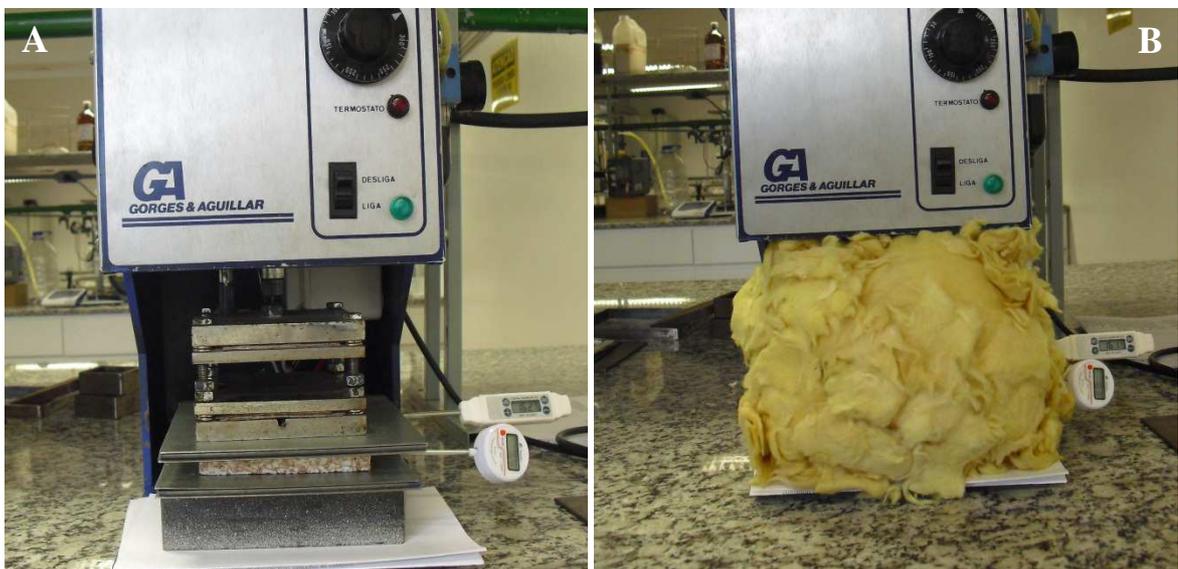


Figura 18 – Ensaio para determinação da condutividade térmica: amostra entre as placas de aquecimento e resfriamento (A); isolamento do sistema com manta de lã de vidro (B)

A condutividade térmica das amostras foi determinada através da Equação 7.

$$\lambda = \frac{q \times e}{\Delta t} \quad (7)$$

Onde:

λ = Condutividade térmica (W m⁻¹ K⁻¹);

q = densidade do fluxo de calor (W m⁻²);

e = espessura da amostra (m);

Δt = diferença de temperatura entre as faces quente e fria da amostra (K).

3.5.9 Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo

Os ensaios para avaliar o desempenho acústico dos painéis aglomerados foram realizados em duas câmaras reverberantes em escala reduzida, confeccionadas na Maqueteria do Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul, seguindo a metodologia descrita por Toutonge (2006). As dimensões de cada câmara reduzida encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Dimensões das câmaras reverberantes reduzidas

Referência	Dimensão
Altura (m)	0,550
Comprimento (m)	0,800
Largura (m)	0,670
Área total (m ²)	2,690
Volume (m ³)	0,295

De acordo com Toutonge (2006), a Norma ISO 3741 informa que as relações entre as dimensões L_y/L_x e L_z/L_x não devem se igualar ou aproximar a um inteiro (Tabela 7). A Figura 19 demonstra o esquema das minicâmaras reverberantes utilizadas nos ensaios

Tabela 7 – Relação entre as dimensões das câmaras reverberantes

Relação entre as Dimensões	
L_y/L_x	0,84
L_z/L_x	0,69

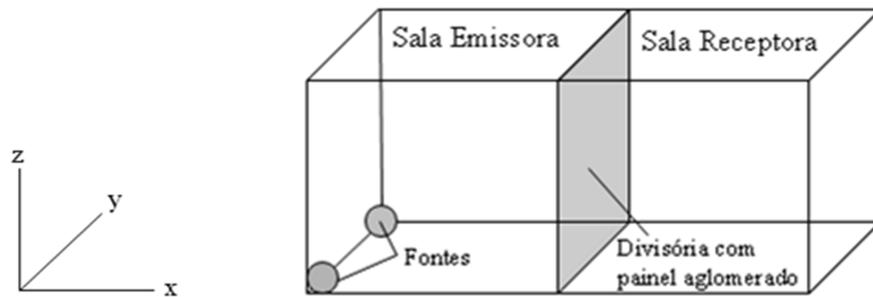


Figura 19 – Esquema das minicâmaras reverberantes confeccionadas na Maqueteria do Campus 8 da Universidade de Caxias do Sul e utilizadas nos ensaios

O sistema de divisória utilizado no ensaio foi constituído por duas chapas de madeira, com 6 e 20 mm de espessura, instaladas paralelamente, e por uma moldura de madeira com 14 mm de espessura contendo o painel aglomerado entre elas (Figuras 20A e 20B). Durante todos os ensaios, o sistema de divisória foi disposto de maneira que a chapa com 20 mm de espessura ficasse voltada à câmara receptora. A utilização da moldura de madeira foi necessária devido ao fato de as dimensões dos painéis produzidos no presente trabalho serem menores do que as dimensões das câmaras utilizadas (Figura 20C). Com o intuito de evitar que possíveis vibrações ocasionassem ruídos secundários durante a realização dos ensaios, foram colocadas tiras de EVA entre o painel aglomerado e a moldura (Figura 20D).



Figura 20 – Sistema de divisória: disposição das componentes do sistema (A); vista do sistema a partir da chapa de madeira com 20 mm de espessura (B); painel instalado na moldura de madeira (C); detalhe da vedação do painel na moldura (D)

A visualização interna das câmaras foi possível graças à instalação de janelas nas mesmas, com dimensões de 30 x 30 cm e confeccionadas em vidro duplo. Para uma melhor vedação do sistema câmara-divisória-câmara (Figura 21A), foi utilizada uma faixa de EVA com 6 mm de espessura em todo o perímetro de acoplamento das câmaras. O sistema câmara-divisória-câmara foi unido utilizando-se grampos tipo C, garantindo a completa vedação do mesmo (Figura 21B).

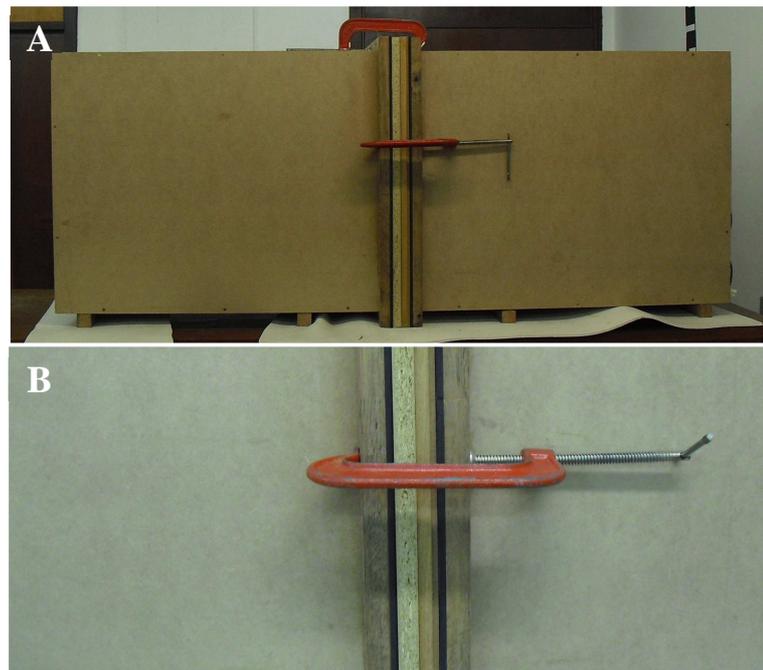


Figura 21 – Sistema câmara-divisória-câmara (A); e detalhe do sistema de vedação (B)

O ruído emitido durante a realização dos ensaios foi o ruído rosa, transmitido através de um pré-amplificador BRÜEL & KJAER 2716[®] (Figura 22A), para a fonte sonora constituída por um par de alto-falantes SELENIUM SYSTEM 2 VIAS 52V2A[®], com resposta de frequência entre 90 e 20.000 Hz, instalados nos vértices inferiores da câmara de emissão, conforme demonstrado na Figura 22B.

O nível sonoro da câmara de recepção foi medido com o auxílio de um analisador sonoro QUEST[®] tipo 1 com filtro de frequências, posicionado no centro da câmara de recepção, a uma distância de 12,8 cm da base da mesma (Figura 22C).

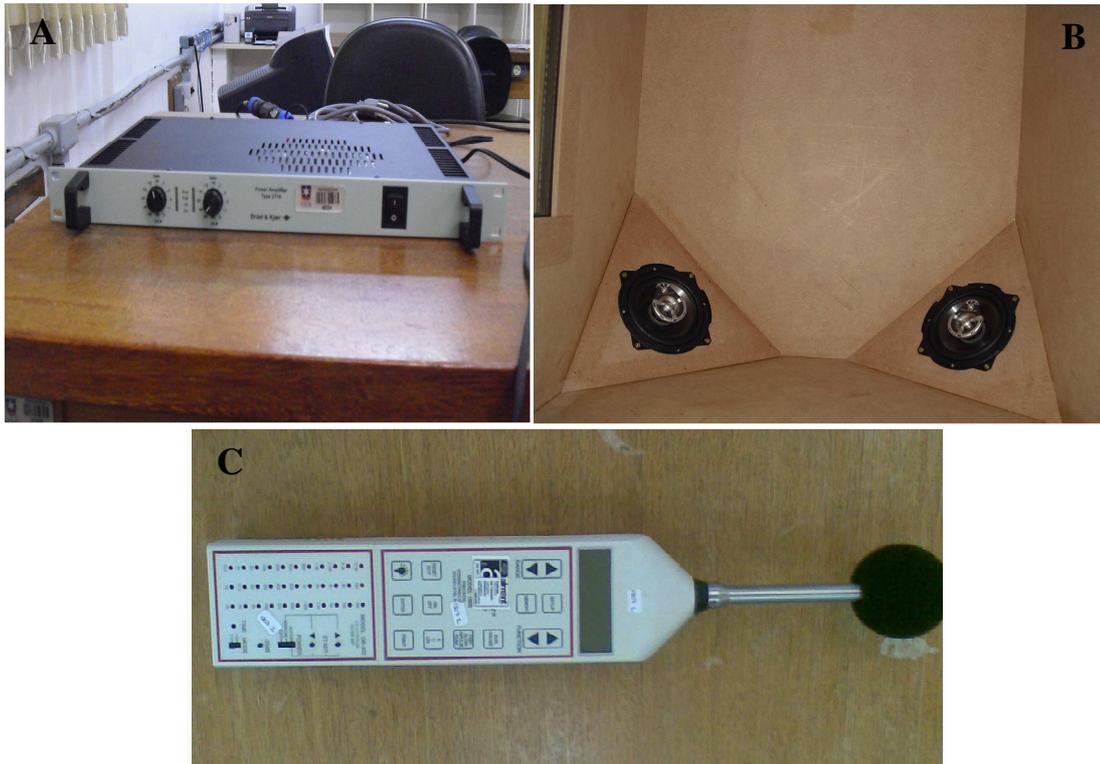


Figura 22 – Equipamentos utilizados no ensaio de desempenho acústico dos painéis aglomerados: pré-amplificador (A); fonte sonora (B); e analisador sonoro (C)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da Matéria-Prima

A análise granulométrica das partículas de madeira e dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis aglomerados está representada na Figura 23 e 24, respectivamente, demonstrando a frequência média de cada tamanho de partícula. Analisando-se os resultados, é possível verificar que as partículas de madeira concentram-se principalmente na classe de tamanho de 0,85 a 1,4 mm, com uma frequência de 65,77%. Já os sólidos granulares de poliuretano apresentam-se superiores a 2,0 mm, com uma frequência de 75,17%.

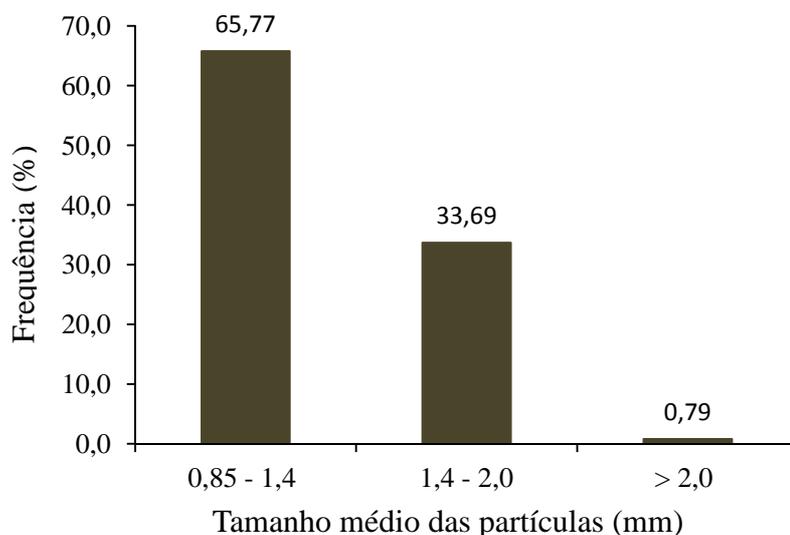


Figura 23 – Distribuição de frequência do tamanho médio das partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis aglomerados

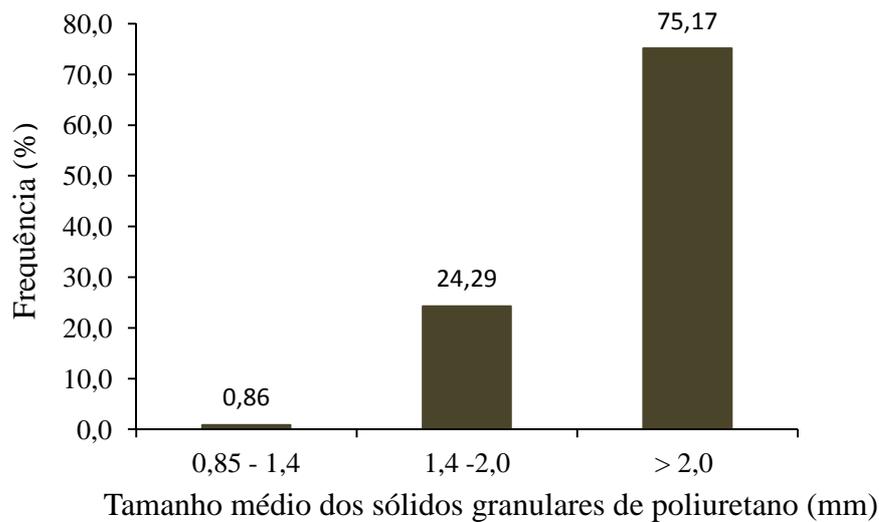


Figura 24 – Distribuição de frequência do tamanho médio dos sólidos granulares de poliuretano utilizados na confecção dos painéis aglomerados

4.2 Teor de Umidade de Equilíbrio (TUE) e Massa Específica Básica (MEb)

Conforme observado na Tabela 8, o TUE médio dos painéis aglomerados variou de 9,78% para os painéis compostos exclusivamente por madeira, a 4,30%, para os painéis compostos por 60% de poliuretano e 40% de madeira. Em análise aos valores encontrados, constata-se que o acréscimo no teor de sólidos granulares de poliuretano proporcionou uma diminuição gradativa no TUE dos painéis aglomerados.

Tabela 8 – Teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano, a 20°C e 65% de umidade relativa do ar

Tratamento		TUE (%)
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	
0	100	9,78
15	85	8,37
30	70	7,12
45	55	5,66
60	40	4,30

Em comparação às exigências estabelecidas pela norma de comercialização ANSI A208.1 (1999), a qual admite valores de teor de umidade de 5 a 13%, todos os painéis atenderam a suas especificações, com exceção dos painéis compostos por 60% de sólidos

granulares de poliuretano e 40% de madeira, os quais apresentaram valores muito próximos ao mínimo exigido pela norma.

A significância estatística entre os valores de TUE e as percentagens de sólidos granulares de poliuretano no modelo ajustado a partir dos dados observados gerou um nível de confiança maior que 99% ($P < 0,01$). A Figura 25 demonstra os valores observados e a equação ajustada para o TUE em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.

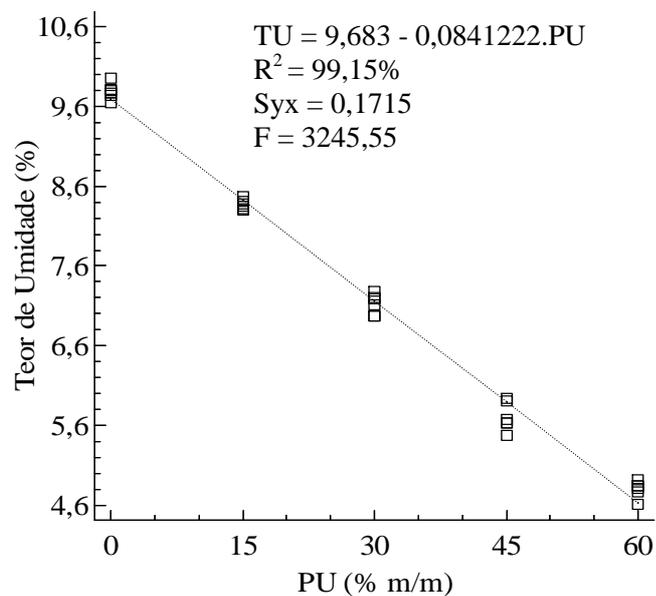


Figura 25 – Valores observados e ajustados de teor de umidade de equilíbrio (TUE) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tendo em vista a variação no TUE entre os tratamentos, a massa específica básica ao teor de umidade de equilíbrio (MEe) foi corrigida para massa específica básica (MEb), através do TU correspondente a cada tratamento, garantindo-se, assim, a padronização dos dados (Tabela 9).

Tabela 9 – Massa específica básica (MEb) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		MEb (g cm ⁻³)			CV Total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	0,35	0,34	0,33	1,29	A
15	85	0,35	0,34	0,33		A
30	70	0,36	0,35	0,34		A
45	55	0,36	0,35	0,34		A
60	40	0,39	0,38	0,37		B

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

A MEb média dos painéis aglomerados variou de 0,34 a 0,38 g cm⁻³, valores estes próximos ao valor nominal pré-estabelecido de 0,35 g cm⁻³. De acordo com a norma de comercialização ANSI A208.1 (1999), os mesmos podem ser classificados como painéis aglomerados de baixa densidade (densidade inferior a 0,64 g cm⁻³).

Os painéis aglomerados produzidos com 0, 15, 30 e 45% de sólidos granulares de poliuretano (médias em A) não diferiram estatisticamente entre si, observando-se apenas diferença significativa para o tratamento composto por 60% de sólidos granulares de poliuretano (média em B), o qual apresentou valor de MEb ligeiramente superior. O aumento observado na MEb dos painéis confeccionados com a maior quantidade de poliuretano deve-se, provavelmente, ao maior volume de partículas gerado durante a confecção desses painéis.

Os intervalos de confiança para a média de MEb de cada tratamento estão representados na Figura 26. Analisando-se os resultados obtidos, observam-se variações na MEb entre os diferentes tratamentos, entre painéis de um mesmo tratamento e dentro de um mesmo painel. Essas variações podem ocorrer em virtude das condições de manufatura dos painéis em laboratório, destacando-se a falta de homogeneidade na distribuição manual da matéria-prima e a diferença de densidade entre as partículas de madeira (HILLIG, 2000; DACOSTA, 2004; PEDRAZZI, 2005). Para Iwakiri et al. (2005), variações na massa específica podem ser atribuídas à especificidade das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, como perdas de material durante o manuseio das partículas nas diferentes etapas da confecção dos painéis, por exemplo.

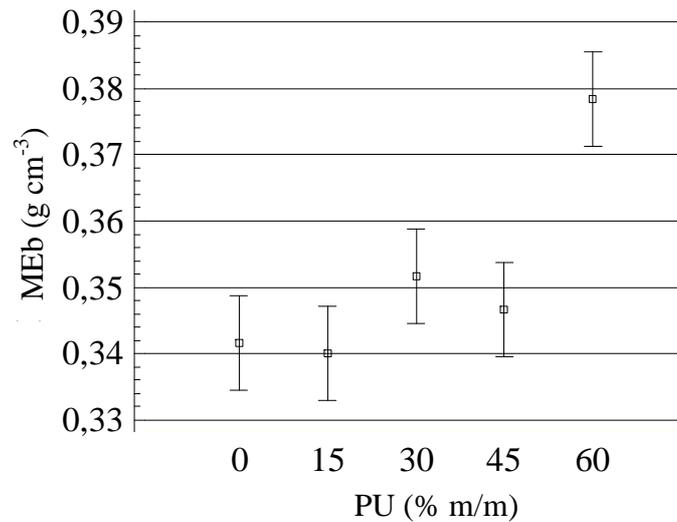


Figura 26 – Intervalo de confiança para as médias de massa específica básica (MEb) dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

4.3 Absorção de Água

Painéis de partículas sofrem grandes alterações quando expostos à umidade. Os efeitos da umidade sobre os painéis causam alterações em suas propriedades, podendo impossibilitar seu uso em ambientes externos ou com fins estruturais (DACOSTA, 2004).

Após 2 horas de imersão em água, observa-se que os valores médios de absorção de água (Tabela 10) variaram de 22,55% para os painéis compostos exclusivamente por madeira (média em C), a 8,46% para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira (média em A). Os painéis confeccionados com 15, 30 e 45% de sólidos granulares de poliuretano (médias em B) não apresentaram diferenças significativas entre si. Os painéis confeccionados apenas com madeira apresentaram uma maior taxa de absorção de água, quando comparados aos painéis que continham poliuretano em sua composição, indicando que a adição de sólidos granulares de poliuretano proporciona diminuição no grau de absorção de água de painéis aglomerados.

Tabela 10 – Absorção de água dos painéis aglomerados após 2 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Absorção 2 horas (%)			CV Total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	23,95	22,55	21,16	5,12	C
15	85	20,36	18,97	17,57		B
30	70	18,55	17,16	15,77		B
45	55	20,44	19,04	17,65		B
60	40	9,85	8,46	7,06		A

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

Os valores médios de absorção de água, após 24 horas de imersão (Tabela 11), variaram de 64,04% para os painéis compostos exclusivamente por madeira (média em D), a 27,29% para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira (média em A). Os tratamentos compostos por 15 e 30% de sólidos granulares de poliuretano (médias em C) não apresentaram diferenças significativas entre si. A maior taxa de absorção de água foi verificada nos painéis confeccionados exclusivamente com madeira, verificando-se uma diminuição gradual na absorção à medida que aumenta o teor de sólidos granulares de poliuretano, seguindo a mesma tendência verificada após duas horas de imersão. Tal fato pode ser atribuído à resistência do poliuretano à água, ou seja, ao seu caráter hidrofóbico (TORREIRA, 2002), e ao aumento dos sítios disponíveis para a penetração da mesma quando se eleva o teor de madeira na composição dos painéis aglomerados (TEIXEIRA, 2002).

Tabela 11 – Absorção de água dos painéis aglomerados após 24 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Absorção 24 horas (%)			CV total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	68,08	64,04	63,01	1,14	D
15	85	55,31	54,27	53,23		C
30	70	55,30	54,27	53,23		C
45	55	50,12	49,08	48,04		B
60	40	28,32	27,29	26,25		A

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

Os intervalos de confiança para as médias de absorção de água, após 2 e 24 horas de

imersão, estão representados na Figura 27.

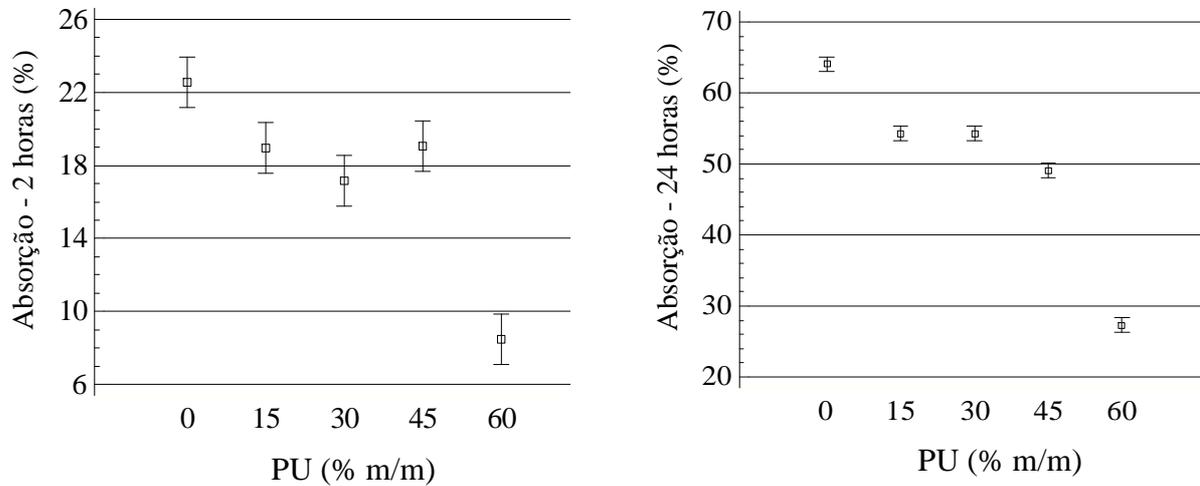


Figura 27 – Intervalo de confiança para as médias de absorção de água dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano: após 2 horas de imersão (A); e após 24 horas de imersão (B)

4.4 Inchamento em Espessura

Inchamento em espessura pode ser definido como sendo a alteração sofrida pelos painéis de partículas de madeira quando estes são expostos à umidade, tornando-se um fato limitante em relação ao uso final dos painéis (BRITO e SILVA, 2002).

Os valores médios de inchamento em espessura, após 2 horas de imersão (Tabela 12), variaram de 2,55% para os painéis compostos por 15% de sólidos granulares de poliuretano e 85% de madeira (média em C), a 1,24% para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira (média em A). Os tratamentos compostos exclusivamente por madeira e por 30% de sólidos granulares de poliuretano não diferiram estatisticamente do tratamento composto por 15% de poliuretano. Os valores obtidos indicam um acréscimo na estabilidade dimensional dos painéis à medida que partículas de poliuretano são adicionadas aos mesmos.

Tabela 12 – Inchamento em espessura dos painéis aglomerados após 2 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Inchamento 2 horas (%)			CV Total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	2,64	2,50	2,36	4,11	C
15	85	2,69	2,55	2,41		C
30	70	2,59	2,45	2,31		C
45	55	1,68	1,54	1,40		B
60	40	1,38	1,24	1,10		A

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

Após 24 horas de imersão em água, os valores médios de inchamento em espessura (Tabela 13) variaram de 6,10% para os painéis compostos exclusivamente por madeira (média em C), a 2,52% para os painéis compostos por 60% de poliuretano e 40% de madeira (média em A), o qual não apresentou diferença estatística do tratamento composto por 45% de sólidos granulares de poliuretano. Os resultados obtidos corroboram os de Iwakiri (1989), o qual cita que o inchamento em espessura de painéis aglomerados está diretamente relacionado à quantidade de água absorvida pelos mesmos. A maior estabilidade dimensional verificada nos painéis aglomerados confeccionados com maior teor de poliuretano indica a vantagem de utilização desses painéis em situações em que a umidade pode ser um fator limitante ao emprego de painéis de madeira.

Tabela 13 – Inchamento em espessura dos painéis aglomerados após 24 horas de imersão em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Inchamento 24 horas (%)			CV Total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	6,28	6,10	5,92	2,95	C
15	85	4,94	4,75	4,57		B
30	70	4,89	4,71	4,53		B
45	55	2,92	2,74	2,55		A
60	40	2,70	2,52	2,34		A

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

Além da contribuição dos sólidos granulares de poliuretano para o aumento da estabilidade dimensional dos painéis, o agente aglomerante à base de MDI tem importante contribuição em sua resistência à umidade. Conforme Bucur (2006), uma das principais

funções do adesivo é impedir a absorção de água por difusão, evitando a diminuição da estabilidade dimensional dos painéis. Segundo Shmulsky e Jones (2011), resinas à base de MDI são à prova d'água, sendo aplicadas, principalmente, na confecção de painéis de madeira resistentes à umidade (PACKHAM, 2005).

Em comparação à norma de comercialização EN 312 (2003), a qual recomenda um valor máximo de inchamento de 14% para painéis aglomerados com 13 a 20 mm de espessura, todos os valores obtidos no presente trabalho foram satisfatórios, enquadrando-se dentro dos limites estabelecidos pela mesma.

Os intervalos de confiança para as médias de inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão, estão representados na Figura 28.

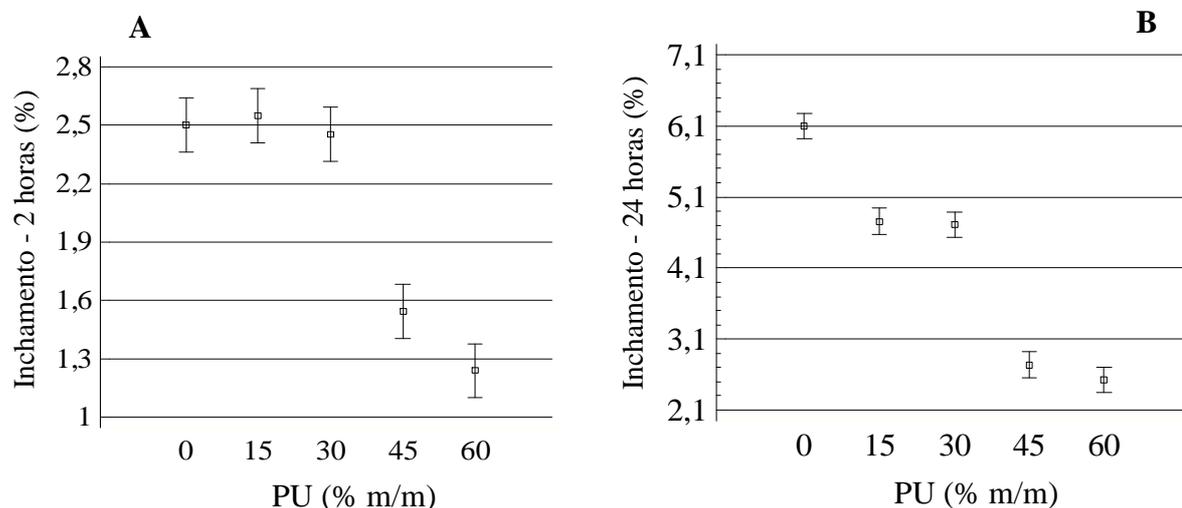


Figura 28 – Intervalo de confiança para as médias de inchamento em espessura dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano: após 2 horas de imersão (A); e após 24 horas de imersão (B)

4.5 Resistência à Tração Perpendicular

A resistência à tração perpendicular, também conhecida como ligação interna, pode ser definida como sendo a resistência que uma amostra de painel aglomerado oferece quando submetida a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície, no sentido de seu comprimento, até a ruptura (NBR 14820-1, 2002). De acordo com Bucur (2006), os valores de ligação interna expressam a qualidade da adesão entre as partículas do painel e o adesivo utilizado.

Os valores médios de resistência à tração perpendicular (Tabela 14) variaram de 0,09 MPa para os painéis compostos exclusivamente por madeira, a 0,39 MPa para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira. A análise dos valores médios obtidos indica um acréscimo nos valores de resistência à tração dos painéis aglomerados na medida em que se aumenta a percentagem de sólidos granulares de poliuretano em sua composição, constatando-se que a adição de poliuretano influencia positivamente o desempenho dos painéis em relação à ligação interna dos mesmos.

Tabela 14 – Resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Resistência à Tração Perpendicular (MPa)
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	
0	100	0,09
15	85	0,20
30	70	0,20
45	55	0,31
60	40	0,39

De acordo com a norma de comercialização ANSI A208.1 (1999), painéis de madeira aglomerada de baixa densidade admitem valores mínimos de 0,15 MPa para a resistência à tração perpendicular, constatando-se que todos os painéis aglomerados confeccionados, exceto os compostos exclusivamente por madeira, atenderam suas especificações.

A qualidade da colagem dos painéis confeccionados no presente trabalho deve-se, provavelmente, à compatibilidade entre o pré-polímero à base de MDI e as matérias-primas utilizadas para a confecção dos painéis, pois, segundo Bucur (2006), o adesivo garante a coesão do material, mantendo unidos seus componentes. De acordo com o fabricante (BASF, 2011), a utilização do Elastan[®] é recomendada para a aglomeração de diversos tipos de espumas e borrachas, sendo empregado na confecção de quadras desportivas, tapetes e blocos de borracha e espuma e painéis sanduíche destinados à construção civil, dentre outras aplicações. Em relação às partículas de madeira, tem-se a reação dos grupos isocianatos do agente aglomerante com as numerosas hidroxilas presentes em seus componentes, como celulose, hemicelulose e lignina (NIIR BOARD OF CONSULTANTES AND ENGINEERS, 2005). Além disso, a reação desses grupos com a água presente nas partículas de madeira desempenha função importante no processo de aglomeração (VILAR, 1999).

A significância estatística entre os valores de resistência à tração perpendicular e as

percentagens de sólidos granulares de poliuretano no modelo ajustado a partir dos dados observados gerou um nível de confiança maior que 99% ($P < 0,01$). A Figura 29 demonstra os valores observados e a equação ajustada para a resistência à tração perpendicular dos painéis em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.

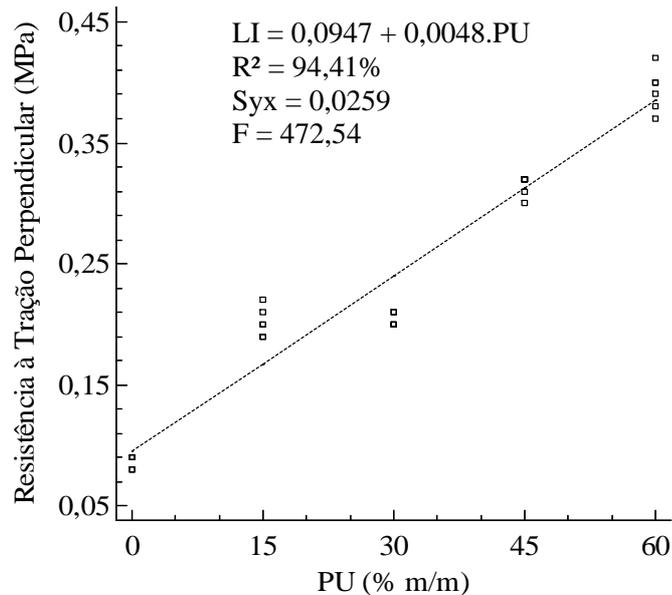


Figura 29 – Valores observados e ajustados de resistência à tração perpendicular dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

4.6 Dureza Janka

A norma NBR 14810-1 (2002) define dureza Janka como sendo a resistência que o painel de madeira aglomerada oferece ao esforço exercido para a penetração da metade de uma esfera de 11,3 mm de diâmetro.

Os valores médios de dureza Janka (Tabela 15) variaram de 2,5 MPa para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira, a 5,5 MPa para os painéis compostos exclusivamente por madeira. A análise dos resultados indica um decréscimo na dureza dos painéis aglomerados quando se aumenta a quantidade de poliuretano em sua composição. Tal fato pode ser atribuído à menor dureza do poliuretano quando comparada à dureza da madeira. Macedo (2008) também verificou tendência de diminuição nos valores de dureza Janka ao adicionar partículas de borracha de pneu em painéis aglomerados de madeira de *Pinus taeda*.

Tabela 15 – Dureza Janka dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Dureza Janka (MPa)
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	
0	100	5,5
15	85	4,2
30	70	3,8
45	55	3,6
60	40	2,5

A significância estatística entre os valores de dureza Janka e as percentagens de sólidos granulares de poliuretano no modelo ajustado a partir dos dados observados gerou um nível de confiança maior que 99% ($P < 0,01$). A Figura 30 demonstra os valores observados e a equação ajustada para a resistência à tração perpendicular dos painéis em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.

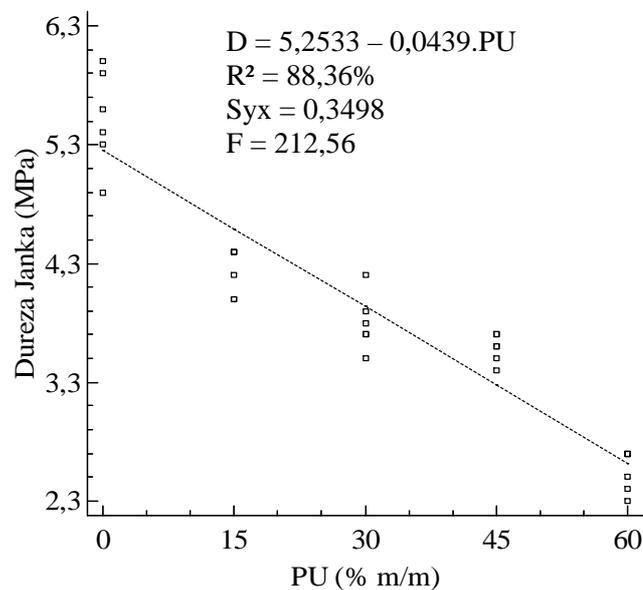


Figura 30 – Valores observados e ajustados de dureza Janka dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

4.7 Resistência ao Arrancamento de Parafuso na Superfície

A resistência ao arrancamento de parafuso é a propriedade que avalia a resistência que uma amostra de madeira aglomerada com espessura total mínima de 14 mm oferece quando sujeita ao arrancamento por uma força de tração de um parafuso (NBR 14810-1, 2002). De acordo com Dacosta (2004), essa é uma propriedade importante em aplicações especiais, principalmente em painéis utilizados na indústria moveleira.

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície dos painéis, visualizados na Tabela 16, variaram de 77,9 N para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira (média em A), a 205,8 N para os painéis confeccionados com 30% de sólidos granulares de poliuretano e 70% de madeira (média em D), os quais não diferiram estatisticamente daqueles com 45% de poliuretano e 55% de madeira.

Tabela 16 – Resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Arrancamento de Parafuso (N)			CV Total (%)	Teste de Médias
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	Máximo	Médio	Mínimo		
0	100	167,8	161,9	156,0	2,52	C
15	85	119,1	113,2	107,3		B
30	70	211,7	205,8	199,9		D
45	55	201,6	195,7	189,8		D
60	40	83,8	77,9	72,0		A

Letras maiúsculas comparam as médias, onde pelo menos uma letra igual indica a inexistência de diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade de erro (Método LSD, $p \geq 0,05$).

A norma de comercialização ANSI A208.1 (1999) admite um valor mínimo de 550 N para a resistência ao arrancamento de parafuso de painéis aglomerados de baixa densidade utilizados na indústria moveleira, observando-se, assim, que nenhum painel confeccionado no presente trabalho atendeu à norma.

4.8 Resistência ao Impacto IZOD

No ensaio de resistência ao impacto IZOD, é determinada a energia necessária para romper um corpo-de-prova por meio da ação de impacto, a qual consiste na soma da energia necessária para deformá-lo, iniciar sua fratura e propagar a fratura pela secção transversal até o rompimento final (LANDI e SILVA, 2003). Segundo Seymour e Carraher (2002), a energia necessária para romper a amostra é calculada a partir da altura e do peso do pêndulo necessários para rompê-la. De acordo com Norton (2000), a determinação da resistência ao impacto IZOD permite a comparação da capacidade de absorção de energia de vários materiais sob condições controladas.

Conforme observado na Tabela 17, os valores médios de resistência ao impacto IZOD variaram de 12,20 J/m para os painéis compostos exclusivamente por madeira, a 46,74 J/m para os painéis confeccionados com 45% de sólidos granulares de poliuretano e 55% de madeira, representando um aumento de 383% na resistência ao impacto.

Tabela 17 – Resistência ao impacto IZOD dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Impacto IZOD (J/m)
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	
0	100	12,2
15	85	21,1
30	70	24,7
45	55	46,7
60	40	43,1

Analisando-se os resultados, percebe-se que os painéis aglomerados contendo poliuretano em sua composição apresentaram tendência de aumento nos valores de resistência ao impacto, requerendo maior quantidade de energia para seu rompimento. Possivelmente, tal comportamento pode ser explicado pela maior capacidade do poliuretano em absorver e distribuir energia de choque, concentrando tensões e agindo como agente de reforço na estrutura dos painéis.

A significância estatística entre os valores de resistência ao impacto IZOD e as percentagens de sólidos granulares de poliuretano no modelo ajustado a partir dos dados observados gerou um nível de confiança maior que 99% ($P < 0,01$). A Figura 31 demonstra os

valores observados e a equação ajustada para a resistência ao impacto IZOD dos painéis em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.

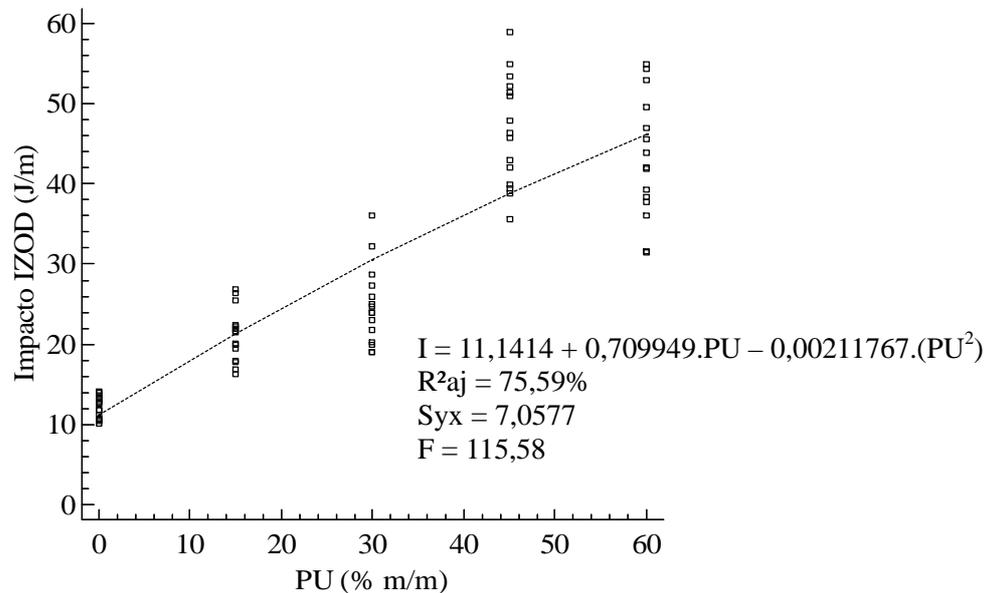


Figura 31 – Intervalo de confiança para as médias de resistência ao impacto IZOD dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

4.9 Condutividade Térmica

Condutividade térmica é a medida da eficiência de um material em conduzir calor. Assim, a determinação de seus valores permite a comparação quantitativa da eficácia de diferentes materiais utilizados no isolamento térmico (AL-HOMOUD, 2005).

Os valores médios de condutividade térmica (Tabela 18) variaram de $0,091 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para os painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira, a $0,098 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ para os painéis compostos exclusivamente por madeira. Analisando-se os resultados, é possível observar um decréscimo nos valores de condutividade térmica dos painéis aglomerados à medida que aumenta a quantidade de sólidos granulares de poliuretano em sua composição, inferindo-se assim que a adição de poliuretano afeta de maneira positiva o desempenho térmico dos painéis. De acordo com Wang (1988 apud ZHOU et al., 2010), materiais com condutividade térmica inferior a $0,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, geralmente, são considerados bons isolantes térmicos.

Tabela 18 – Condutividade térmica dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

Tratamento		Condutividade Térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
PU (% m/m)	Madeira (% m/m)	
0	100	0,098
15	85	0,098
30	70	0,097
45	55	0,093
60	40	0,091

Segundo Dubbel (1974), poros e espaços ociosos favorecem o isolamento térmico devido ao ar contido em seu interior ser um mau condutor térmico. De acordo com Vilar (1999), a baixa condutividade térmica das espumas de poliuretano, provavelmente, é uma de suas propriedades físicas mais importantes, sendo resultado de sua baixa densidade e de sua estrutura composta por células pequenas e fechadas, as quais possuem, em seu interior, agentes gasosos de expansão.

De maneira comparativa, observa-se que os painéis aglomerados apresentaram menor condutividade térmica que uma madeira sólida, cuja densidade aproxima-se da densidade dos mesmos. A condutividade térmica da madeira sólida de *Tilia americana* (densidade = $0,38 \text{ g cm}^{-3}$), uma espécie de madeira de folhosa de baixa densidade, é de $0,11 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, a um teor de umidade de 12% (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999). Esse valor é 1,2 vezes maior que o valor da condutividade térmica do painel de madeira aglomerada composto por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira, o qual apresentou o menor valor de condutividade térmica dentre as formulações testadas.

Em relação aos valores de condutividade térmica apresentados pela norma NBR 15220-2 (2003), o painel aglomerado composto por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira possui condutividade térmica: (i) 2 vezes maior que a lã de rocha ($\lambda=0,045 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,02$ a $0,20 \text{ g cm}^{-3}$); (ii) 2 vezes maior que a lã de vidro ($\lambda=0,045 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,01$ a $0,10 \text{ g cm}^{-3}$); (iii) 3 vezes maior que a espuma rígida de poliuretano ($\lambda=0,030 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,03$ a $0,04 \text{ g cm}^{-3}$); (iv) 1,6 vezes maior que a chapa isolante de fibra de madeira ($\lambda=0,058 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,20$ a $0,25 \text{ g cm}^{-3}$); (v) 1,5 vezes menor que o aglomerado de partículas de madeira ($\lambda=0,14 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,55$ a $0,65 \text{ g cm}^{-3}$); (vi) 1,3 vezes menor que o compensado de madeira de baixa densidade ($\lambda=0,12 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,35$ a $0,45 \text{ g cm}^{-3}$); (vii) 1,3 vezes menor que a madeira sólida de baixa densidade ($\lambda=0,12 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$, densidade= $0,30$ a $0,45 \text{ g cm}^{-3}$).

A significância estatística entre os valores de condutividade térmica e as percentagens

de sólidos granulares de poliuretano no modelo ajustado a partir dos dados observados gerou um nível de confiança maior que 99% ($P < 0,01$). A Figura 32 demonstra os valores observados e a equação ajustada para a condutividade térmica em função do teor de sólidos granulares de poliuretano.

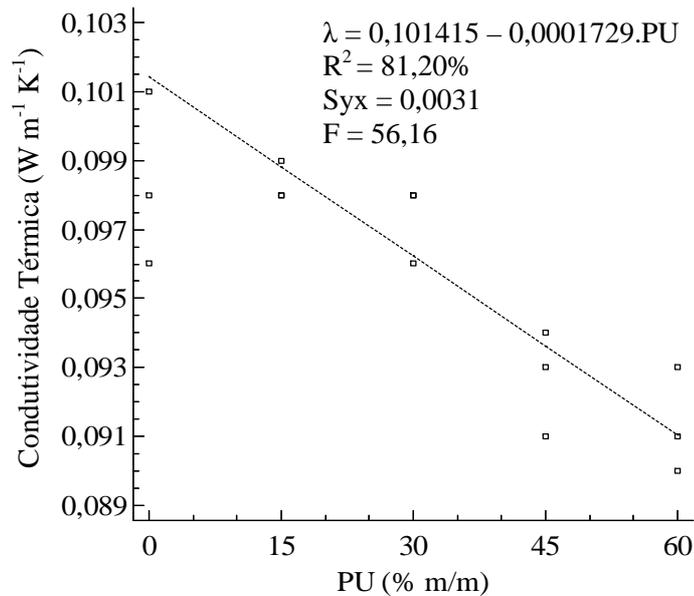


Figura 32 – Valores observados e ajustados de condutividade térmica dos painéis aglomerados em função do teor de sólidos granulares de poliuretano

4.10 Isolamento Acústico ao Ruído Aéreo

O desempenho acústico dos painéis aglomerados em relação ao ruído aéreo foi avaliado de maneira comparativa, determinando-se a diferença de nível sonoro medido na câmara de recepção, na ausência e na presença dos painéis no sistema de divisória.

O nível sonoro medido na câmara de recepção, na ausência e na presença dos painéis aglomerados no sistema de divisória, pode ser visualizado na Tabela 19.

Tabela 19 – Níveis sonoros medidos na câmara de recepção, na ausência e na presença dos painéis aglomerados no sistema de divisória

Frequência (Hz)	Nível Sonoro (dB)					
	Divisória sem amostra	0% PU	15% PU	30% PU	45% PU	60% PU
16	49,4	44,9	42,7	42,9	44,3	42,9
31,5	53,3	46,1	43,3	43,6	45,9	46,9
63	65,0	63,3	59,6	60,1	65,4	64,6
125	72,2	72,4	72,5	72,7	72,0	70,9
250	83,6	83,4	84,4	85,0	83,3	81,0
500	73,3	71,1	73,8	73,9	69,6	68,6
1.000	61,7	59,5	59,9	59,2	59,6	59,5
2.000	56,5	53,4	54,5	54,0	53,3	52,7
4.000	53,6	45,3	45,6	45,3	45,5	44,6
8.000	52,2	39,3	39,4	39,0	39,2	38,0
16.000	42,7	26,8	26,3	26,3	26,8	25,7

Analisando-se a Figura 33, a qual demonstra o comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado unicamente com madeira, é possível observar uma redução no nível sonoro em todas as faixas de frequência, com exceção da frequência de 125 Hz, a qual apontou um aumento de 0,2 dB (125 Hz). As reduções observadas variaram de 0,2 dB (250 Hz) a 15,9 dB (16.000 Hz), constatando-se maior redução na frequência de 16.000 Hz.

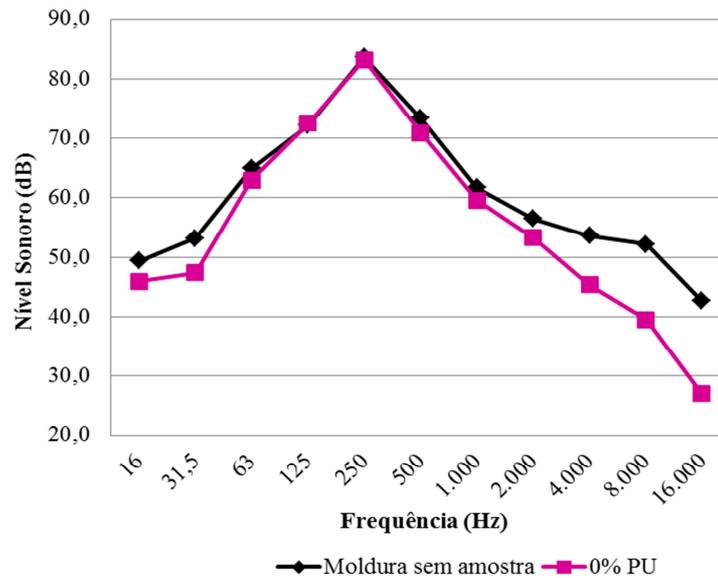


Figura 33 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado unicamente com madeira

A Figura 34 demonstra o comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 15% de poliuretano. Percebe-se uma redução no nível de ruído nas frequências de 16 a 63 Hz e de 1.000 a 16.000 Hz, a qual varia de 1,8 (1.000 Hz) a 16,3 dB (16.000 Hz). Nas frequências de 125 a 500 Hz, percebe-se um aumento no nível sonoro, o qual varia de 0,3 dB (125 Hz) a 0,7 dB (250 Hz).

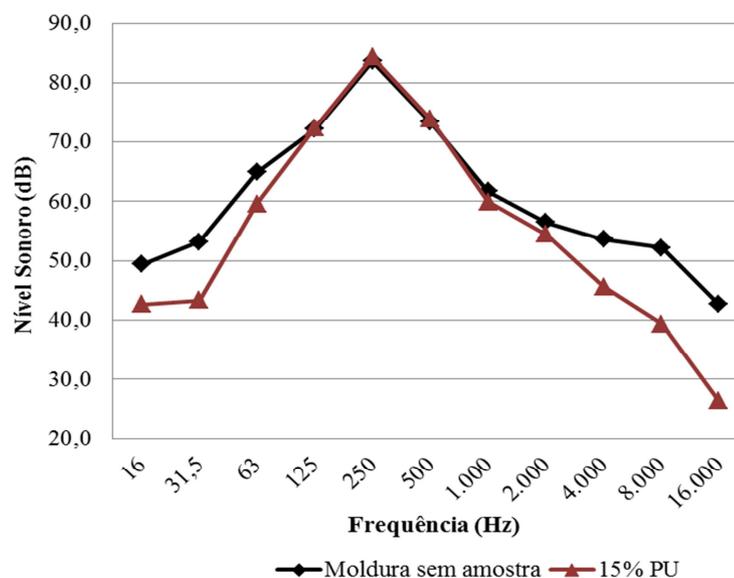


Figura 34 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 15% de poliuretano

O comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 30% de poliuretano apresenta tendência semelhante ao comparativo anterior. Analisando-se a Figura 35, é possível observar redução no nível de ruído nas frequências de 16 a 63 Hz e de 1.000 a 16.000 Hz, a qual variou de 2,5 dB (1.000 Hz e 2.000 Hz) a 16,3 dB (16.000 Hz).

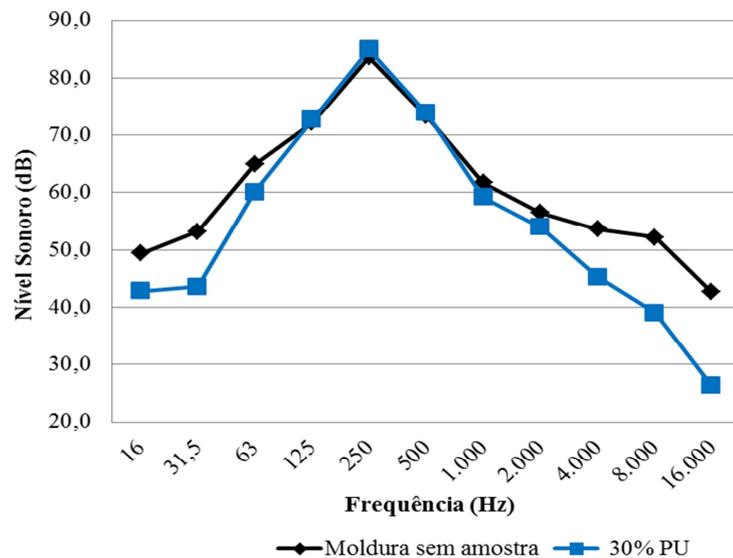


Figura 35 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 30% de poliuretano

O comparativo realizado entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 45% de poliuretano (Figura 36) apontou redução no nível de ruído em todas as frequências analisadas, com exceção da faixa de 63 Hz, a qual indicou um aumento de 0,5 dB. As reduções observadas variaram de 0,2 dB (125 Hz) a 15,8 dB (16.000 Hz).

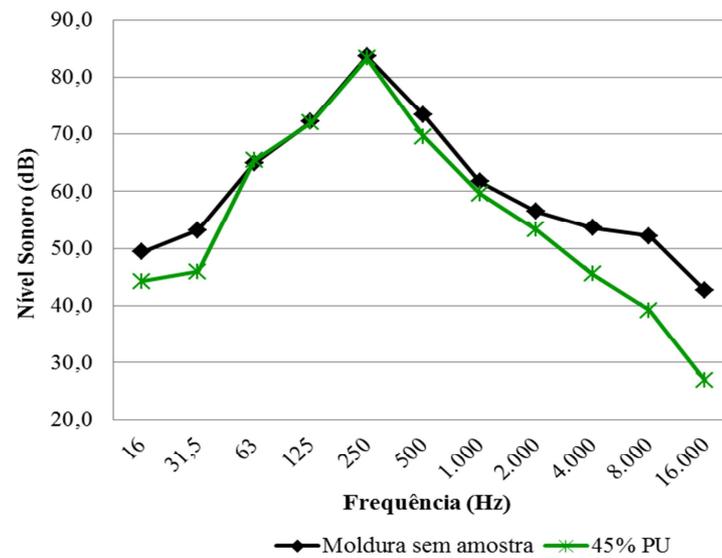


Figura 36 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 45% de poliuretano

Analisando-se a Figura 37, a qual demonstra o comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel confeccionado com 60% de poliuretano, observa-se que não houve aumento no nível sonoro nas faixas de frequência analisadas. As reduções variaram de 0,4 dB (63 Hz) a 17,0 dB (16.000 Hz).

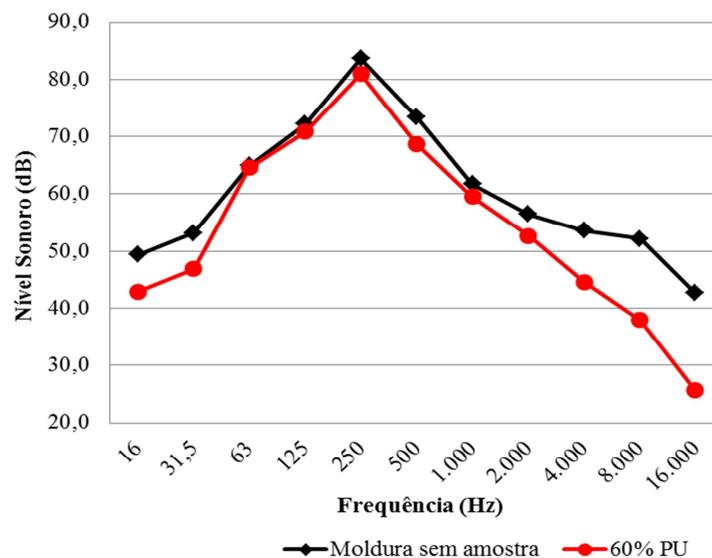


Figura 37 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelo painel aglomerado confeccionado com 60% de poliuretano

Em relação ao aumento no nível de ruído observado nos comparativos entre o sistema de divisória sem amostra e com os painéis confeccionados com 0, 15, 30 e 45% de poliuretano, este pode ter sido gerado devido à ocorrência de possíveis vibrações externas durante a execução do ensaio. De acordo com Menezes Filho (2004), a ressonância consiste na faculdade que um corpo apresenta de co-vibrar, de modo espontâneo, quando excitado por vibrações exteriores cuja(s) frequência(s) coincide(m) com o(s) período(s) próprio(s) e natural de vibração de sua matéria.

O gráfico da Figura 38 apresenta um comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados. O gráfico da Figura 39 apresenta as diferenças verificadas entre o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória sem amostra e o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados. A fim de facilitar a visualização dos dados, elaborou-se a Tabela 20.

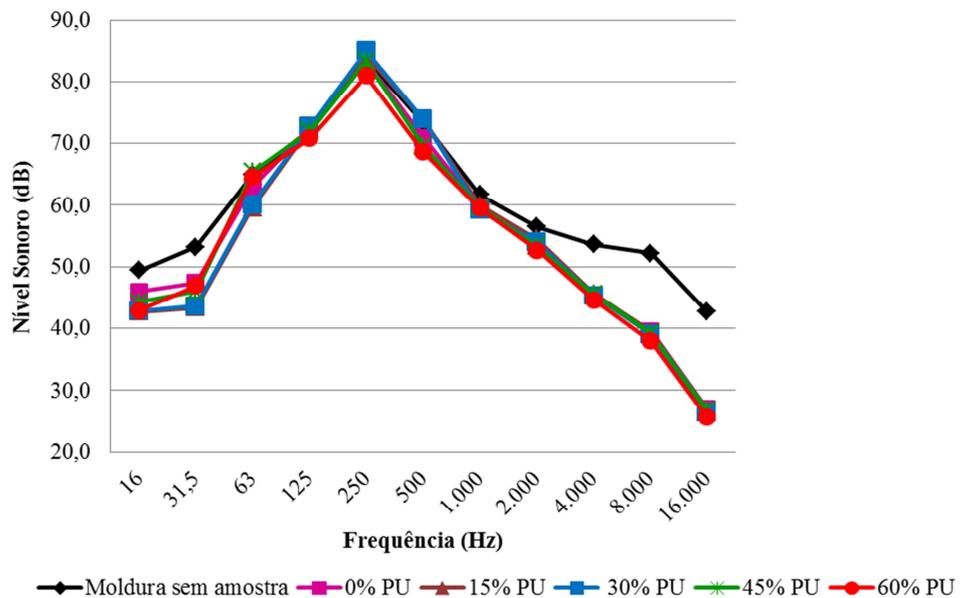


Figura 38 – Comparativo entre o sistema de divisória sem amostra e o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados

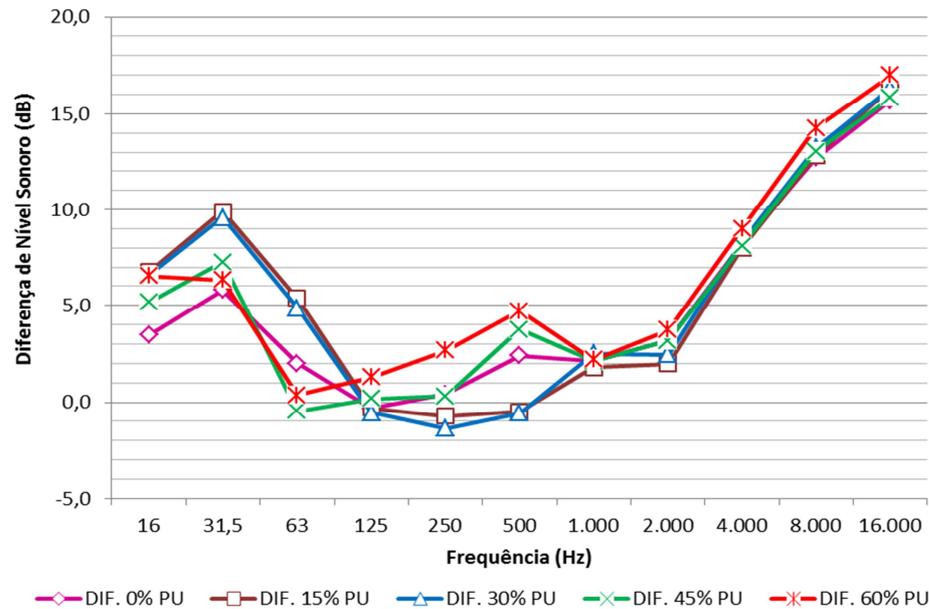


Figura 39 – Diferenças verificadas entre o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória sem amostra e o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados

Tabela 20 – Diferenças verificadas entre o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória sem amostra e o nível sonoro mensurado com o sistema de divisória composto pelos diferentes painéis aglomerados

Frequência (Hz)	Diferença no Nível Sonoro (dB)				
	0% PU	15% PU	30% PU	45% PU	60% PU
16	4,5	6,8	6,6	5,2	6,5
31,5	7,2	10,0	9,7	7,4	6,5
63	1,7	5,4	4,9	-0,5*	0,4
125	-0,2*	-0,3*	-0,5*	0,2	1,3
250	0,2	-0,7*	-1,4*	0,3	2,7
500	2,2	-0,5*	-0,6*	3,8	4,7
1.000	2,2	1,8	2,5	2,1	2,2
2.000	3,1	2,0	2,5	3,2	3,7
4.000	8,3	8,0	8,3	8,1	9,0
8.000	12,9	12,8	13,2	13,0	14,3
16.000	15,9	16,3	16,3	15,8	17,0

* Aumento no nível de ruído gerado por possíveis vibrações externas ocorridas durante a execução do ensaio.

Analisando-se globalmente os resultados, verifica-se que o painel aglomerado que apresentou melhor desempenho em relação à redução no nível sonoro foi aquele

confeccionado com 60% de poliuretano, apresentando as maiores reduções nas faixas de frequência de 125, 250, 500, 2.000, 4.000, 8.000 e 16.000 Hz. Além disso, é possível verificar um aumento do nível sonoro na frequência de 250 Hz em todos os sistemas de divisória compostos pelos painéis aglomerados, inferindo-se, assim, que essa é a frequência crítica dos painéis confeccionados. De acordo com Bistafa (2006), a frequência crítica é a menor frequência de coincidência, a qual se dá para a onda que se propaga rasante ao painel, ou seja, para um ângulo de 90°. O autor cita que a frequência crítica depende da rigidez do painel, onde à medida que a rigidez diminui, a frequência crítica é aumentada.

Os resultados obtidos demonstram que o poliuretano é um material com potencial para ser utilizado no tratamento acústico de ambientes, corroborando os trabalhos encontrados na literatura (MENEGOTTO, 2010; NUNES e BAYER, 2011).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir da confecção de painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e sólidos granulares de poliuretano permitiram concluir que:

- o acréscimo no teor de sólidos granulares de poliuretano proporcionou uma diminuição gradativa no T_{Ue} dos painéis aglomerados. Os teores de umidade ficaram dentro dos padrões internacionais de comercialização, com exceção dos painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira;
- os painéis confeccionados foram classificados como painéis de baixa densidade, sendo que a adição de sólidos granulares de poliuretano influenciou apenas na massa específica básica (ME_b) dos painéis compostos por 60% de sólidos granulares de poliuretano e 40% de madeira, os quais apresentaram valores ligeiramente superiores;
- o acréscimo de sólidos granulares de poliuretano aumentou a estabilidade dimensional dos painéis, diminuindo os valores de absorção de água e inchamento em espessura dos mesmos. Todos os valores obtidos enquadraram-se nos limites estabelecidos pelos padrões internacionais de comercialização;
- a resistência à tração perpendicular aumentou significativamente com o aumento da quantidade de poliuretano na composição dos painéis. Todos os painéis confeccionados, exceto os compostos exclusivamente por madeira, atenderam aos padrões estabelecidos pela norma americana ANSI A208;
- a dureza Janka foi influenciada de maneira negativa com a adição de sólidos granulares de poliuretano, verificando-se diminuição dos valores à medida que aumentou a quantidade de poliuretano na composição dos painéis;
- os maiores valores de resistência ao arrancamento de parafuso foram encontrados utilizando-se 30 e 45% de sólidos granulares de poliuretano na composição dos painéis, porém, nenhum painel atendeu aos padrões internacionais de comercialização;
- os painéis aglomerados com sólidos granulares de poliuretano em sua composição apresentaram maior resistência ao impacto IZOD, requerendo maior quantidade de energia para seu rompimento;
- a adição de sólidos granulares de poliuretano proporcionou um decréscimo nos valores

de condutividade térmica dos painéis à medida que se aumentou a quantidade de poliuretano em sua composição;

- painéis aglomerados confeccionados com partículas de madeira e sólidos granulares de poliuretano podem ser utilizados no tratamento acústico de ambientes. Os painéis confeccionados com 60% de poliuretano e 40% de madeira proporcionaram as maiores reduções no nível sonoro medido dentro da câmara de recepção;
- painéis aglomerados produzidos com sólidos granulares de poliuretano apresentam potencial para serem utilizados na composição de paredes, divisórias, revestimentos de ambientes e forros, aumentando o conforto térmico e acústico dos ambientes. Além disso, como vantagem, tem-se a possibilidade de aplicações em condições onde a umidade é um fator limitante ao uso de painéis de madeira;
- é válido o emprego de sólidos granulares de poliuretano na confecção de painéis de madeira aglomerada, podendo-se obter, além de melhorias nas características tecnológicas dos painéis, redução na quantidade de passivos ambientais provenientes do setor calçadista.

Como sugestões de continuidade, sugere-se avaliar:

- a viabilidade econômica da produção dos painéis aglomerados confeccionados a partir de madeira e sólidos granulares de poliuretano;
- a utilização de massa específica nominal superior, como $0,60 \text{ g cm}^{-3}$;
- a utilização de diferentes tipos de agentes aglomerantes, como ureia-formaldeído e fenol-formaldeído;
- o efeito de diferentes teores de agente aglomerante;
- o emprego de diferentes taxas de compactação;
- o emprego de outros resíduos industriais, como poli[(etileno)-co(acetato de vinila)] (EVA) e poli(butadieno-co-estireno) (SBR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF**: 2011 ano base 2010. Brasília: ABRAF, 2011. 130 p.

AL-HOMOUD, M. S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 40, n. 3, p. 353-366, mar. 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **ANSI A208.1**: particleboard. Gaithersburg, 1999. 13 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C177**: standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus. Philadelphia, 1985. 23 p.

_____. **ASTM D 256**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. Philadelphia, 1997. 21 p.

_____. **ASTM 1037**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999. 30 p.

ANDRIGUETTO, F. D.; DALLABRIBA, L.; CARNEIRO, R. J. Análise dos vetores da responsabilidade social da central de triagem de resíduos da indústria calçadista de Três Coroas/RS – Estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS , 15., 2011, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: FGV-EAeSP, 2011. Disponível em: <http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2011/artigos/E2011_T00247_PCN21162.pdf>. Acesso em: 14 set. 2011.

ARAUJO, H. J. B. de. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 168 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: tratamento acústico em recintos fechados: procedimentos. Rio de Janeiro, 1992. 9 p.

_____. **NBR 14810-1**: chapas de madeira aglomerada: parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2002. 4 p.

_____. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002. 32 p.

_____. **NBR 15220-1**: desempenho térmico de edificações: parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003. 7 p.

_____. **NBR 15220-2:** desempenho térmico de edificações: parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 21 p.

_____. **NBR 15220-3:** desempenho térmico de edificações: parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003. 23 p.

_____. **NBR 15220-5:** desempenho térmico de edificações: parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2003. 7 p.

_____. **NBR 10004:** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BASF. Elastan[®]. Disponível em:

<www.polyurethanes.asiapacific.basf.com_apex_KUAPortal_KU.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2011.

BASF Poliuretanos Ltda. **Elastan 8004/BR[®]**. Mauá: [s.n.], 2009. 2 p. (Informação Técnica).

BENTO, R. F.; MINITI, A.; MARONE, A. M. S. **Tratado de otologia**. São Paulo: Fundação Otorrinolaringologia: FAPESP, 1998. 488 p.

BERNARDI, R. Dossiê técnico: reconstituição de chapas de aglomerado. In: DOSSIÊ técnico. Porto Alegre: SBRT, 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTc=>>>. Acesso em: 5 jun. 2011.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgar Blücher, 2006. 368 p.

BOM, R. P. Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 388-397, out./nov./dez. 2008.

BRITO, E. O.; SILVA, G. C. Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 127-134, jan./dez. 2002.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de madeira**. Brasília: IICA, 2007. 84 p.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 393 p.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CANAUD, C. Dossiê técnico: tecnologia do poliuretano. In: DOSSIÊ técnico. Rio de Janeiro: SBRT, 2007. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTM3>>>. Acesso em: 6 jun. 2011.

CARLO, J. C. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. **Desempenho**

térmico de edificações. Florianópolis, 2005. 82 p.

CASTRO, T. M. de. **Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante.** 2010. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

CATAI, R. G.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 17., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: IPEN, 2006. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-214-003.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2011.

CHEMELLO, A. LUZZATO, D. **Acústica.** Porto Alegre: Professor Gaúcho, 19--. 123 p.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas aglomeradas.** 2004. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DARIVA, J. J.; LUCA, S. J.; RUPENTAL, G. Gerenciamento de resíduos sólidos das indústrias calçadistas do município de Três Coroas – RS. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-091.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2011.

DONATI, R. D. **[Entrevista disponibilizada em março de 2010, à Internet].** 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/entrevistaRosane.php>>. Acesso em: 5 jun. 2011.

DOSSA, D. et al. **Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais.** Comunicado Técnico, Colombo: Embrapa Florestas, n. 83, p. 1-4, 2002.

DUBBEL, H. **Manual da construção de máquinas.** São Paulo: Hemus, 1974. 1043p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312:** 2003 has the status of a DIN Standard. Berlin, 2003. 17 p.

FINKLER, M. **Desenvolvimento de compósitos com base em rejeitos de tecidos de algodão e acrílico em matriz de polietileno de alta densidade.** 2005. 75f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2005.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook:** wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.

FREIRE, P. S. Procedimento para gerenciamento de resíduos de atividades administrativas em instalações industriais. Disponível em: <<http://www.cenedcursos.com.br/upload/procedimento-residuos-urbanos.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 249 p.

GOBBI, G. et al. Propriedades mecânicas de misturas de resíduo de poliuretano (PU) com polietileno (PEBD). In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 19., 2004, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UFPR, 2004. Disponível em: <http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2004/CRICTE%202004/arquivos/pagina_405.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2011.

GÓES, J. N. L. de. Materiais derivados de madeira: aplicação estrutural. In: JGOES. Campo Mourão: UTFPR, 2011. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/jgoes/arquivos/Apost_Aplicacao_Estrutural_2011.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2011.

GUEDES, R. C. **Projeto e construção de uma câmara reverberante em escala reduzida para a caracterização acústica de materiais absorventes**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

HARPER, C. A. **Handbook of plastics, elastomers, and composites**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1996. 677 p.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 195-200, 2001.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HASELEIN, C. R. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HERNÁNDEZ, J. A. **Lignina organosolv de *Eucalyptus dunnii* Maiden, alternativa para a síntese de adesivos de poliuretano para madeira**. 2007. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HOWARD, G. T. Biodegradation of polyurethane: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 49, n. 4, p. 245-252, jun. 2002.

HUGON, A. **Técnicas de construção I**. São Paulo: Hemus, 1979. 365 p.

_____. **Técnicas de construção II**. São Paulo: Hemus, 2004. 362 p.

Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **Cadeia Produtiva da Madeira**. 6. v. Brasília: IICA, 2007. 84 p.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia

Florestal) – Universidade Federal Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

LANDI, T. R. L.; SILVA, L. G. A. Estudo do Efeito da Radiação Ionizante com Feixe de Elétrons sobre o Terpolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno – ABS. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 107-117, 2003.

LIBOS, H. Avanço nas metas ambientais do Protocolo de Montreal se reflete sobre as inovações tecnológicas e no volume de negócios deste ano. **Química e Derivados**, n. 466, out. 2007.

LILGE, D. S. **Desempenho de duas espécies florestais em combinação com casca de arroz na fabricação de painéis cimento-madeira**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MACEDO, A.; ROQUE, C. A.; LEITE, E. Produtos sólidos de madeira. BNDES Setorial, nov. 1997. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/madexpo.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2011.

MACEDO, D. B. G. **Análise de isolamento sonoro de sistemas de construtivos residenciais estruturados em aço**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

MACEDO, M. A. R. P.; ROQUE, C. A. L. Diversidade de produção amplia usos no setor. *Revista da Madeira*, n. 95. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=872&subject=Painel&title=Diversidade%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20amplia%20usos%20no%20setor>. Acesso em: 7 ago. 2011.

MACEDO, D. G. **Compósitos de serragem de madeira e resíduos de recauchutagem de pneu**. 2008. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing**. 2. ed. São Francisco: Miller Freeman Inc., 1993. 689 p.

MANO, E. B. **Polímeros como material de engenharia**. São Paulo: Edgar Blücher, 2000. 197 p.

MARCHIORI, J. N.; SOBRAL, N. *Dendrologia das angiospermas: myrtales*. Santa Maria: Editora UFSM, 1997. 304 p.

MARCO, C. S. de. **Elementos da acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982. 129 p.

MARQUES, A.; SILVA, J.; GASPAR, C. Universidade Fernando Pessoa. **Isolamento térmico e acústico**. Porto, 2010. 113 p.

MASSAROTO, M. et al. Characterization of ground SBR scraps from shoe industry. **Materials Research**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 81-84, jan./mar. 2008.

MATÉRIA-PRIMA. In: ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. São Paulo: ABIQUIM, 2011. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/poliuretanos/materiaprima.asp>>. Acesso em: 4 abr. 2011.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. das. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

McMURRY, J. **Química orgânica**. 7. ed. Cengage Learning: Santa Fe, 2009. 1352 p.

MENEGOTTO, A. N. et al. Avaliação de material com resíduo de poliuretanos na redução do ruído de impacto em pisos. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 23., 2010, Salvador. **Anais... SOBRAC**, 2010.

MENEZES FILHO, F. Acústica musical em palavras e sons. Cotia: Ateliê Editorial, 2004. 308 p.

MELO, R. R. de. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MESKIMEN, G.; FRANCIAS, J. K. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden: rose gum eucalyptus. In: NORTHEASTERN area state and private forestry. Newtown Square: 2004. disponível em: <http://www.na.fs.fed.us/pubs/silvics_manual/volume_2/silvics_v2.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2011.

MILAGRES, E. G. **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade**. 2004. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MODRO, N. L. R. et al. Utilização de resíduos de espuma de poliuretano rígido proveniente de indústria de refrigeração como elemento de enchimento de lajes nervuradas de concreto moldadas "in loco". **Revista Tecnológica**, Maringá, Edição Especial ENTECA 2009, p. 49-55, 2009.

NAIME, R.; ROBINSON, L. C. A tendência de produção de calçados ecológicos através da biodegradabilidade. **InGEPRO**, Santa Maria, v.1, n. 7, set. 2009.

NIIR BOARD OF CONSULTANTS & ENGINEERS. **The complete technology book on wood and its derivatives**. National Institute of Industrial Research: Delhi, 2005. 502 p.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 2 ed. São Paulo: Bookman, 2000. 932 p.

NUNES, M. F. de O. **Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas**. 2005. 289 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto

Alegre, 2005.

NUNES, M. F. de O. et al. Avaliação de material com resíduos poliméricos na redução do ruído de impacto em pisos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

NUNES, M. F. de O.; BAYER, E. C. Isolamento acústico em fechamentos duplos com materiais confeccionados à base de resíduos poliméricos. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2011, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 2011.

PACKHAM, D. E. **Handbook of adhesion**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 638 p.

PATRICIO, J. Acústica de edifícios: índices sonoros de isolamento a sons aéreos utilizados no espaço europeu. **Revista de Acústica**, Madrid, v. 35, n. 3/4, p. 5-11, jul./dez. 2004.

PAULESKI, D. T. **Características de compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1995, p. 50-58.

PROJETO AMANHÃ MAIS FELIZ. In: Sindicato da Indústria de Calçados, Componentes para Calçados de Três Coroas-RS. Disponível em: <<http://www.sindicatotrescoroas.com.br/ecologia/>>. Acesso em: 4 abr. 2011.

ROQUE, C. A.; VALENÇA, A. C. Painéis de madeira aglomerada. In: BNDES Setorial. Rio de Janeiro: BNDES, 1998. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set805.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. F. Desenvolvimento de processo de reciclagem de resíduos industriais de poliuretano e caracterização dos produtos obtidos. **Polímeros: ciência e tecnologia**, São Carlos, v. 13, n. 001, p. 64-71, jan./mar. 2003.

SALIBA JUNIOR, C. C. **Avaliação das propriedades mecânicas de poliuretano tendo como agente de reforço uma nova fibra inorgânica natural.** 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SANTOS, C. dos; BEROLI, S. R. Construção de câmara reverberante em escala reduzida para realização de ensaios acústicos. In: Congresso Iberoamericano de Acústica, 6., 2008, Buenos Aires. **Anais eletrônicos...** Buenos Aires: FIA, 2008. Disponível em: <http://www.google.com.br/#hl=ptBR&source=hp&q=Congreso+Iberoamericano+de+Ac%C3%BAstica+&oq=Congreso+Iberoamericano+de+Ac%C3%BAstica+&aq=f&aql=&gs_sm=e&gs_upl=17651176510125931111010101313131311110&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=c50cfd2e85358fe7&biw=1024&bih=564>. Acesso em: 29 jul. 2011.

SETUBAL, V. G. **Avaliação e reciclagem de chapas OSB utilizadas na construção civil.** 2009. 47 f. monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

SEYMOUR, R. B.; CARRAHER, C. E. **Introducción a la química de los polímeros.** Barcelona: Reverté, 2002. 706 p.

SHMULSKY, R.; JONES, P.D. **Forest products and wood science: a introduction.** 6. ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2001, 496 p.

SILVA, J. C. Eucalipto: a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, edição especial, 2001. 114 p.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SIMIONI, W. I. **Análise de erros na medição de condutividade térmica de materiais através do método fluximétrico.** 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SONDEREGGER, W.; NIEMZ, P. Thermal conductivity and water vapour transmission properties of wood-based materials. **European Journal of Wood and Wood Products**, Zurich, v. 67, n. 3, p. 313-321, ago. 2009.

STATGRAPHICS CENTURION XV. Warrenton, 2006. Versão 15.2.05. Sistema operacional Windows 98.

STRONG, A. Brent. **Plastics: materials and processing.** 3. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006. 917 p.

TECNOLOGIA DOS MATERIAIS. Poliuretano. Disponível em: <<http://www.tecnologiademateriais.com.br/poliuretano/poliuretano.html>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

TEIXEIRA, D. E.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; COSTA, A. F. da. Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e polietileno de baixa

densidade (PEBD). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 78-80, jan./dez. 2002.

TOMAZZELO FILHO, M. Estrutura anatômica de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 29, p. 25-36, abr. 1985.

TOUTONGE, J. A. **Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para o estudo das características de perda de transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

TORREIRA, R. P. **Fluídos térmicos: água, vapor, óleos térmicos**. São Paulo: Hemus, 2002. 319 p.

TRAINIG PUBLICATIONS DIVISION. **Refrigeração e condicionamento de ar**. São Paulo: Hemus, 2004. 135 p.

ULRICH, E. **Introduction to industrial polymers**. 2 ed. Munich: Hanser, 1993. 188 p.

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

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 1999. 351 p.

WESTPHAL, F. S.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Isolantes térmicos e acústicos para construção civil. In: LABCON. Disponível em: <<http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/243.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2011.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ZHOU, X. et al. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. **Energy and Buildings**, Belgrado, v. 42, n. 7, p. 1070-1074, jul. 2010.